

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики та управління в технічних системах
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 126 Інформаційні системи та технології _____
(код і назва спеціальності)

(Інтегровані інформаційні системи) _____

на тему: Система управління транспортними засобами на гірничому підприємстві

Виконав (-ла): студент (-ка) _VI_ курсу, групи ІА-73мп _____
(шифр групи)

Ременюк Дмитро Анатолійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., доц., Долина В.Г. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) Інформатики та обчислювальної техніки _____
(повна назва)

Кафедра Автоматики та управління в технічних системах _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) 126 Інформаційні системи та технології _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Ременюку Дмитру Анатолійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Система управління транспортними засобами _____
на гірничому підприємстві _____

науковий керівник дисертації Долина Віктор Георгійович, к.т.н., доцент ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації 04.12.2018 р. _____

3. Об'єкт дослідження транспортна система гірничого підприємства _____

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) система локального позиціонування транспортних засобів в шахтах і кар'єрах з точністю 2 м _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) технології локального позиціонування; 2) методи розрахунку місцезнаходження об'єкта; 3) структурну схему системи; 4) функціональні схеми вузлів системи; 5) розрахунки точності визначення місцезнаходження; 6) розрахунки дальності дії системи; 7) стартап-проект. _____

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» на тему «Система управління транспортними засобами на гірничому підприємстві»: 113 с., 9 розділів, 26 таблиць, 30 рис., 21 джерело, 9 додатків.

Провідні об'єкти гірничих підприємств України було засновано та оснащено обладнанням ще в другій половині минулого століття. На сьогодні транспортні системи шахт і кар'єрів потребують вдосконалення.

Метою дослідження є розробка системи локального позиціонування транспортних засобів в шахтах і кар'єрах, яка забезпечить можливість визначення місцезнаходження мобільних об'єктів для контролю і подальшого управління транспортними системами на гірничих підприємствах.

В роботі розглянуто системи локального позиціонування та методи, на яких будується обчислення місцезнаходження мобільного об'єкта. Запропоновано використання NanoLOC мереж для побудови інфраструктури базових станцій. Розроблено структуру системи локального позиціонування на гірничих підприємствах. Розроблено функціональні схеми вузлів системи. Проведено розрахунки точності вимірювання відстаней в системі, а також вплив зовнішніх факторів на точність і дальність дії обладнання.

СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ, РАДІОЛОКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, МЕТОДИ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ, NANOLOC, ТЕХНОЛОГІЯ ЗАВАДОСТІЙКОГО ДВОСТОРОННЬОГО ЗВ'ЯЗКУ, CSS

ABSTRACT

Master's dissertation of the educational qualification level "Master" on the topic "The system of management of vehicles at a mining enterprise": 113 p., 9 sections, 26 tables, 30 figures, 21 sources, 9 annexes.

Leading objects of the mining enterprises of Ukraine were founded and equipped with equipment in the second half of the last century. Today, transport systems for mines and quarries need to be improved.

The aim of the study is to develop a system for the local positioning of vehicles in mines and quarries, which will enable the location of mobile objects to be monitored and further managed by transport systems at mining enterprises.

The paper considers the systems of local positioning and the methods on which the calculation of the location of a mobile object is under construction. The use of NanoLOC networks for the construction of the base station infrastructure is proposed. The structure of the system of local positioning in mining enterprises is developed. Functional schemes of nodes of the system are developed. The calculations of the accuracy of distance measurements in the system, as well as the influence of external factors on the accuracy and range of equipment.

LOCAL POSITIONING SYSTEMS, RADIOCOLOCATION TECHNOLOGIES,
LOCAL POSITION METHODS, NANOLOC, CSS

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	10
1 ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ	13
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	17
2.1 Система RealTrac 3.0 компанії RealTrac Technologies (Росія).....	17
2.2 Системи оптимізації ресурсів і підвищення безпеки ТОВ "РТЛС" (Росія)	19
2.3 Висновки	21
3 ТЕХНОЛОГІЇ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ	22
3.1 Радіолокаційні технології.....	23
3.1.1 Позиціонування в стільникових мережах	23
3.1.2 Технологія UWB позиціонування	24
3.1.3 Технологія Wi-Fi	25
3.1.4 Технологія WiMax.....	26
3.1.5 Технологія ZigBee	26
3.1.6 Технологія MiWi	27
3.1.7 Технологія NFER.....	28
3.1.8 Технологія NanoLOC	29
3.1.9 Технологія DECT	30
3.1.10 Технологія Bluetooth	31
3.1.11 Системи позиціонування з використанням активних RFID-міток	32
3.2 Технологія інерційного позиціонування	32
3.3 Технології позиціонування, засновані на зміні магнітного поля	33
3.4 Ультразвукові технології позиціонування.	34
3.5 Оптичні технології позиціонування.	34
3.5.1 Інфрачервоне позиціонування	34
3.5.2 Лазерне позиціонування.....	35
3.6 Висновки	35
4 МЕТОДИ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ	38
4.1 Метод, заснований на використанні тріангуляції.....	38

4.2 Методи, засновані на використанні трилатерації	39
4.2.1 Метод ToA	40
4.2.2 Метод TDoA	40
4.2.3 Метод ToF	41
4.2.4 Метод TWR.....	42
4.2.5 Метод SDS-TWR	43
4.2.6 Метод NFER	45
4.3 Метод, заснований на вимірюванні сили сигналу	45
4.4 Висновки	46
5 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ НА ГІРНИЧОМУ ПІДПРИЄМСТВІ	47
5.1 Розробка та опис структурної схеми	47
5.2 Розробка та опис функціональних схем	49
5.3 Технологія вимірювання відстані SDS-TWR	53
5.4 Технологія завадостійкого двостороннього зв'язку	56
5.5 Програмне забезпечення	59
5.6 Висновки	63
6 ПІДХОДИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ТА ЇХ ТОЧНІСТЬ..	64
6.1. Вплив геометричного фактору на точність	64
6.2. Вплив завищених вимірювань на оцінку точності визначення місцеположення	66
6.3 Вплив занижених вимірювань на оцінку точності визначення місцеположення	67
6.4 Висновки	68
7 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ	69
7.1 Експеримент 1. Вимірювання на відкритій місцевості	69
7.2 Експеримент 2. Вивчення впливу відбиття	71
7.3 Експеримент 3. Стабільність у часі	73
7.4 Експеримент 4. Вплив взаємної орієнтації штирьових антен	75
7.5 Експеримент 5. Перевірка залежності точності вимірювань від використовуваної апаратури	76

7.6 Висновки	77
8 РОЗРАХУНКИ ДАЛЬНОСТІ ДІЇ СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ.....	78
8.1 Розрахунок дальності дії системи по лінії прямої видимості.....	78
8.2 Розрахунок зміни втрат і дальності дії системи в реальних умовах.....	80
8.3 Розрахунок дальності дії системи при обліку втрат на загасання сигналу всередині приміщення	81
8.4 Висновки	82
9 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	83
9.1 Опис ідеї проекту	83
9.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	85
9.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	86
9.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	91
9.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	94
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	99
ДОДАТОК А.....	102
ДОДАТОК Б.....	103
ДОДАТОК В	104
ДОДАТОК Г.....	105
ДОДАТОК Д	106
ДОДАТОК Е	107
ДОДАТОК Ж	108
ДОДАТОК З.....	109
ДОДАТОК К	109

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БС – Базова станція

ДЛЗ – Дисперсійна лінія затримки

ЛЧМ – Лінійно-частотна модуляція

МП – Мобільний пристрій

ТЗ – Транспортний засіб

АоА – Angle of arrival

BLE – Bluetooth low energy – Bluetooth з низьким енергоспоживанням

CSS – Chirp spread spectrum – технологія розширення спектра за допомогою ЛЧМ-імпульсів

CSMA/CA – Carrier sense multiple access with collision avoidance – Багатостанційний доступ з контролем несучої і запобіганням конфліктів

DECT – Digital enhanced cordless telecommunication – Технологія цифрового бездротового зв'язку з телефонними апаратами

FDMA – Frequency division multiple access – Множинний доступ з частотним розділенням

NFER – Near-field electromagnetic ranging – Технологія розповсюдження в ближньому електромагнітному полі

RFID – Radio frequency identification – Радіочастотна ідентифікація

RSSI – Received signal strength indicator – Показник рівня сигналу

RTLS – Real-time Locating Systems – Система позиціонування в режимі реального часу

SDS-TWR – Symmetrical double-sided two-way ranging – Метод симетричного двостороннього двонаправленого вимірювання відстані

TDMA – Time division multiple access – Множинний доступ з поділом за часом

TDoA – Time difference of arrival

ToA – Time of arrival

ToF – Time of flight

TWR – Two-way ranging – Метод двонаправленого вимірювання відстані

UWB – Ultra Wideband – надширокосмугова технологія

ВСТУП

Актуальність теми. Одним із важливих чинників розвитку країни є наявність різноманітних природних ресурсів. За запасами залізної, марганцевої, титанової й уранової руди Україна посідає перше місце серед країн Європи, за запасами чистого заліза – 4 місце у світі. На її території сконцентровано близько 10% світових запасів марганцевої руди.

Україна належить до світових країн-лідерів із видобування залізорудної сировини, посідаючи шосте місце в світі.

Найбільші запаси залізних руд сконцентровано в межах Криворізького залізорудного басейну, видобуток в основному ведеться економічно вигідним відкритим способом. Компактне розташування гірничих потужностей надає суттєві переваги для налагодження ефективної транспортної інфраструктури. [1]

Вугільна промисловість України представлена головним чином підприємствами Донецького (95 шахт), Луганського (57 шахт), Львівсько-Волинського (13 шахт) кам'яновугільних і Дніпровського (10 шахт) буровугільного басейну. Основною базою кам'яного вугілля України є Донецький вугільний басейн. [2; 3]

Україна – країна з величезними природно-кам'яними ресурсами. На території України розвідано понад 300 родовищ облицювального каменю з промисловими запасами близько 500 млн. м³. Майже половина родовищ граніту знаходиться в експлуатації.

Більшість родовищ геологічно пов'язано з «Українським кристалічним щитом». Протяжність «Українського кристалічного щита» від узбережжя Азовського моря в північно-західному напрямку до кордону з Білоруссю, майже на 1000 км. Ширина його разом зі схилами змінюється від 150 до 450 км, площа в контурах виходів докембрійських утворень складає 136,5 тис. км², а загальна площа з урахуванням схилів – 256,6 тис. км². Український щит займає більше третини території країни.

Нерудні корисні копалини є найбільш поширеними в Україні як за кількістю їх видів, так і за кількістю відкритих і освоєних родовищ. Пояснюється це тим, що до них ставляться надзвичайно різні походження породи і мінерали. Нерудні копалини мають дуже широке застосування. Вони застосовуються в промисловості, також вони використовуються в будівництві, науці і техніці, побуті та медицині. Україна за запасами нерудних корисних копалин (сірки, облицювального каменю, каоліну) лідирує в Європі, а за запасами графіту – друге в світі.

Поки що недостатньо вивчено наявність дорогоцінних і виробних каменів, проте перспективні ділянки різних самоцвітів зосереджені на Волині (топази); промислові запаси високоякісного бурштину виявлені у Рівненській області, родоніту – в Карпатах; зустрічаються берил, опал, аметист, димчастий кварц, гірський кришталь, яшма та ін.

Найбільш популярні облицювальні камені, який видобувається на території України – граніт і мармур. [3]

У розрізі галузей економіки гірничо-металургійний сектор займає друге місце з сукупним доходом в 416 млрд. грн. (за даними 2016 р). [4]

Провідні об'єкти було засновано та оснащено обладнанням ще в другій половині минулого століття, вони досталися новим господарям «у спадок» від радянської України. [1] Для розкриття свого потенціалу інфраструктури гірничих підприємств України потребують вдосконалення. Особливо це стосується технологічного та інформаційного забезпечення та систем контролю.

Використання систем позиціонування людей і матеріальних об'єктів – одне з актуальних напрямків вдосконалення технологічних і бізнес процесів в самих різних галузях діяльності. Транспортні системи гірничих підприємств не є виключенням.

Ми щодня стикаємося з глобальними навігаційними системами, такими, як GPS або GLONASS. Робота цих систем забезпечується спеціальними супутниками, виведеними на геостаціонарну орбіту, і прив'язаними до певної точки в глобальній системі координат. Мобільні пристрої, наприклад, навігатор, отримують сигнал супутника і визначають своє місце розташування в прив'язці до географічних координат на основі завантажених у пристрій карт місцевості. Точність роботи

глобальних навігаційних систем достатня в масштабах міста або країни, хоча похибка може досягати 10-15 метрів.

З іншого боку, за допомогою глобальних систем практично неможливо визначити точне місце розташування всередині приміщення, залізобетонного будівлі, в підвалі або у тунелі, на точність сигналу можуть впливати масивна хмарність, магнітні бурі і інші подібні фактори.

Цих недоліків позбавлені система локального позиціонування, їх переваги стають очевидними в разі необхідності побудови систем локації та зв'язку в межах певних територій і приміщень.

Такі системи здатні вирішувати завдання визначення місцерозташування людей, техніки, інших фізичних об'єктів не в масштабах країни, а в межах цілком конкретної території або всередині будівлі з високою точністю. Це комплекс із стаціонарних і мобільних пристроїв, керуючого сервера і спеціального програмного забезпечення.

Метою дослідження є розробка системи локального позиціонування транспортних засобів в шахтах і кар'єрах, яка забезпечить можливість визначення місцерозташування мобільних об'єктів для контролю і подальшого управління транспортними системами на гірничих підприємствах.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети визначені наступні задачі, які необхідно вирішити:

- 1) дослідити технології локального позиціонування;
- 2) дослідити методи визначення місця розташування;
- 3) розробити структурну схему системи;
- 4) розробити функціональні схеми вузлів системи;
- 5) провести розрахунки точності обраної технології;
- 6) провести розрахунки дальності дії системи.

Об'єктом дослідження є транспортна система гірничого підприємства.

Предмет дослідження. Система локального позиціонування, що здатна забезпечити точність розрахунку до 2 м, а також бути достатньо завадостійкою.

1 ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

Транспорт – це галузь матеріального виробництва або надання послуг з перевезення людей і вантажів.

Гірничий транспорт слугує для переміщення гірничої маси при розробці родовищ корисних копалин і зосереджує в собі комплекс пристроїв та споруд, включаючи рухомий склад, а також допоміжне обладнання, транспортні комунікації, засоби керування їх роботою та пристрої для технічного обслуговування й ремонту.

Транспортування гірничої маси – це один з основних виробничих процесів, що разом із буро підривними роботами, екскавацією та відвалоутворенням входить у поняття технології видобутку корисних копалин.

Розрізняють шахтний та кар'єрний транспорт.

Специфіка гірничих робіт полягає в постійному переміщенні робочих місць, що й зумовлює особливості експлуатації гірничого транспорту і диктує основні вимоги до транспортних засобів:

- необхідність пересування транспортних комунікацій, обладнання, пунктів навантаження й розвантаження в міру переміщення фронту робіт;
- значна величина вантажопотоку і висока інтенсивність руху;
- відносно невеликі відстані транспортування та постійна їх зміна через переміщення навантажувального обладнання вдовж фронту робіт;
- необхідність взаємного узгодження параметрів транспортного, добувного і навантажувального обладнання для забезпечення їх високопродуктивної роботи (зокрема місткості ковша й транспортної посудини, тривалості простоїв та ін.);
- обмеженість робочого простору на горизонтах.

За характером потоку вантажу розрізняють циклічний (або перервний) і поточковий (безперервний) види транспорту. На гірничих підприємствах широко використовуються залізничний, автомобільний, конвеєрний, комбінований

(конвеєрно-залізничний, конвеєрно-автомобільний та ін.) і спеціальний види транспорту (канатні дороги, гравітаційний транспорт).

Розрізняють такі вантажопотоки:

- дискретні вантажопотоки з використанням залізничного і автомобільного транспорту;
- безперервні, у яких задіяно конвеєрний транспорт;
- комбіновані.

У дискретних вантажопотоках тривалість роботи машин циклічної дії внаслідок відхилення часу, витраченого на окремі операції, від середнього значення є випадковою величиною. Це викликає позачергові простой вантажних і транспортних машин, тривалість яких залежить від кількості одиниць техніки, задіяної у технологічній схемі.

Пропускна здатність транспортної системи за умови послідовної роботи машин визначають, беручи в розрахунок машину з найменшою власною пропускною здатністю, тобто

$$Q_{\text{посл}} = Q_{i \min}$$

У разі паралельного сполучення засобів розраховують суму значень цього параметра стосовно кожної машини, а саме:

$$Q_{\text{парал}} = \sum Q_i$$

Сучасні транспортні засоби дають можливість формувати системи різної структури й ступеня безперервності вантажопотоків (рисунки 1.1-1.3). [6; 7]

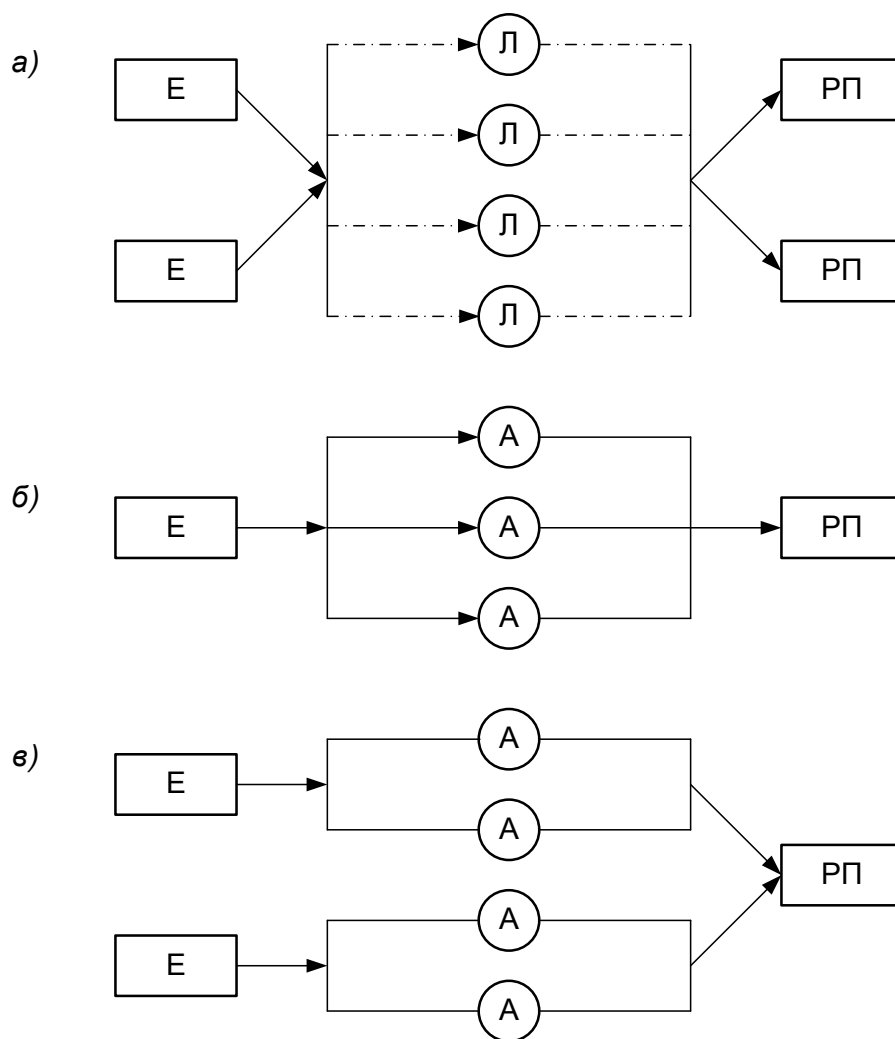


Рисунок 1.1 – Схеми дискретних вантажопотоків

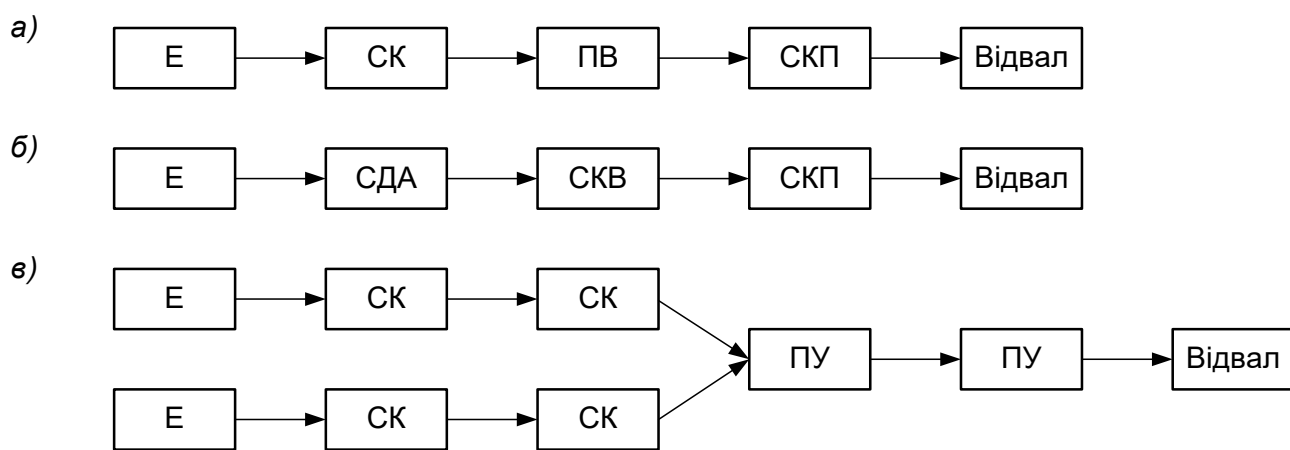


Рисунок 1.2 – Схеми безперервних вантажопотоків

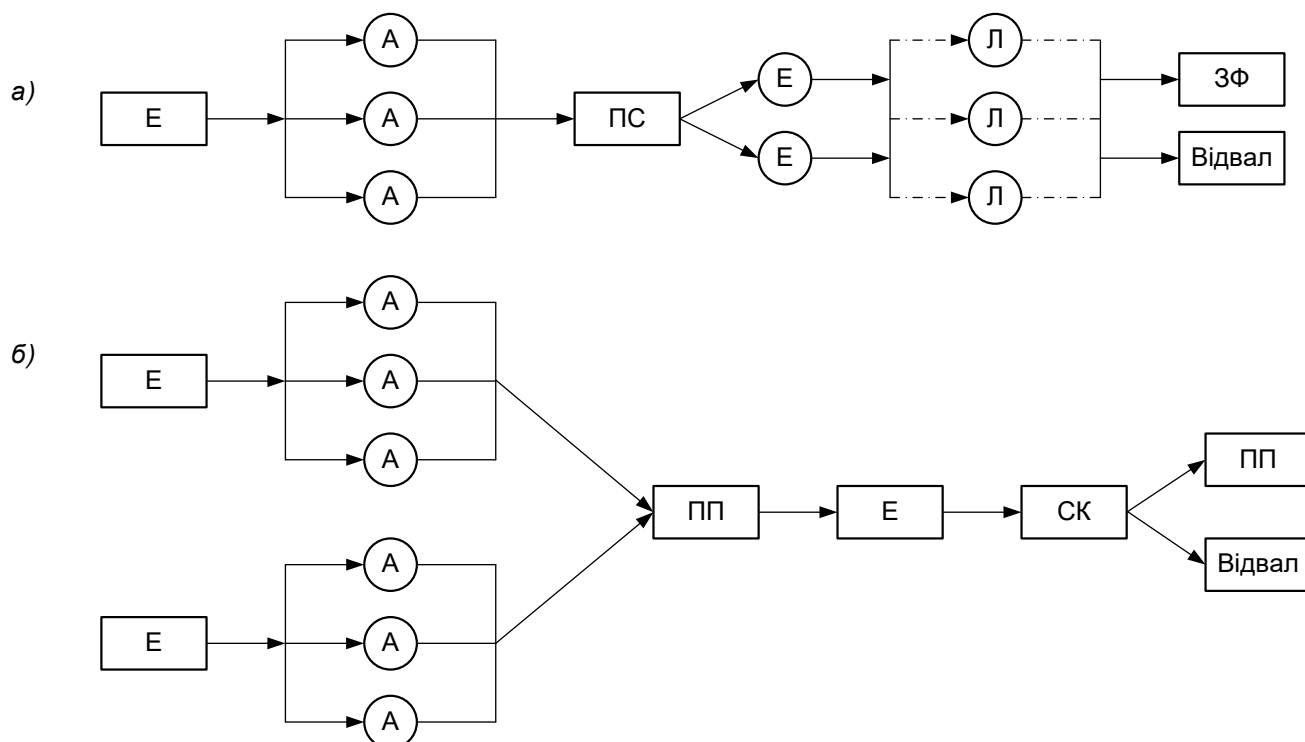


Рисунок 1.3 – Схеми комбінованих вантажопотоків, де задіяно автомобільно-залізничний комплекс (а) та автомобільно-конвеєрний комплекс (б)

На рисунках 1.1-1.3 прийнято такі позначення:

Е – екскаватор;

Л – локомотив;

А – автосамоскид;

РП – розвантажувальний пункт;

СК – стрічковий конвеєр;

ПВ – перевантажувач;

СКП – стрічковий конвеєр підіймальний;

СДА – самохідний дробильний агрегат;

СКВ – стрічковий конвеєр вибійний;

ПУ – перевантажувальний пристрій;

ПС – проміжний склад;

ЗФ – збагачувальна фабрика;

ПП – перевантажувальний пункт.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

2.1 Система RealTrac 3.0 компанії RealTrac Technologies (Росія)

У 2009 році було створено ЗАТ «РТЛ Сервіс», яке об'єднало в собі науковий, інженерний і фінансовий потенціал, з метою просування на ринок інноваційних технологій для вирішення завдань локального позиціонування і голосового зв'язку. У 2015 році була проведена реорганізація компанії в результаті якої була утворена Група Компаній "РТЛ Сервіс". У вересні 2018 року ДК "РТЛ Сервіс" реорганізована в компанію RealTrac Technologies і RealTrac International. RealTrac Technologies займається розробкою основного продукту – системи RealTrac, а також здійснює проекти на території Росії і СНД. RealTrac International – це міжнародний підрозділ, що відповідає за виробництво і продаж системи RealTrac на ринках Європи, Африки, Азії та Латинської Америки.

Система підвищення безпеки та ефективності RealTrac – це багатоцільове і багатофункціональне рішення, що дозволяє визначати місце розташування людей і об'єктів на обмежених територіях і всередині будівель (RTLS), здійснювати локацію і трекінг. Також система RealTrac здійснює збір статистики переміщень, забезпечує цифровий голосовий зв'язок і передачу даних від компонентів системи, а також стороннього обладнання.

Компанія RealTrac Technologies має галузеві рішення для лікарень і медичних центрів, логістики та складів, промисловості та виробництва, а також для шахт і підземного видобутку, кар'єрів.

RealTrac "Шахта" складається з наступних продуктів:

1. RealTrac Позиціонування. Продукт призначений для визначення місця розташування гірників, гірничої техніки та інших об'єктів на різних горизонтах, в забоях і виробках шахти з використанням різних радіотехнологій. Вирішує задачі:

- контроль рівнів доступу гірників;
- контроль місця розташування гірників у виробках шахти;
- контроль робочого часу і рівнів доступу персоналу;

- аварійне оповіщення гірників;
- евакуація і виявлення гірників захоплених аварією.

2. RealTrac Запобігання зіткнень техніки і наїздів транспорту на персонал.

Продукт призначений для зниження кількості аварій, пов'язаних із зіткненням транспорту і техніки, а також наїздів техніки на гірників в умовах недостатньої або поганої видимості.

3. RealTrac Голосовий зв'язок. Продукт призначений для організації цифрового заводостійкого рухомого голосового зв'язку на території шахти з можливістю зв'язку, як з диспетчером, так і з іншими співробітниками поза шахтою.

RealTrac "Кар'єр" складається з наступних продуктів:

1. Позиціонування.
2. Запобігання зіткнень техніки і наїздів транспорту на персонал.
3. Промислова передача даних. Передача даних на розрізі або кар'єрі

реалізується за допомогою продукту RealTrac Промисловий Wi-Fi. Це дозволяє різним співробітникам, що працюють на території кар'єру, отримати доступ до наступних систем:

- САП, ERP, CRM та інші системи;
- Управління гірничодобувним підприємством;
- АСУ ТП і РСУ;
- Управління виробничим підприємством;
- RealTrac Позиціонування;

На сьогоднішній день існує три основних види позиціонування, які використовуються для контролю рухомої техніки, людей і обладнання. Виходячи з особливостей бізнесу, в компаніях можуть застосовуватися системи, що збирають інформацію за допомогою технологій глобального (GPS/GLONASS), локального, а також гібридного позиціонування. У свою чергу, локальне позиціонування буває точним ($\pm 0,1-3$ м) і зональним (± 20 метрів).

Прикладом можливостей гібридних технологій є продукт «RealTrac Позиціонування». Для контролю за об'єктами в ньому використовується

запатентована технологія локального позиціонування RealTrac в основі якої лежать технології BLE (Bluetooth low energy, Bluetooth LE) і UWB і технологія глобального позиціонування за допомогою навігаційних супутникових систем. [8]

2.2 Системи оптимізації ресурсів і підвищення безпеки ТОВ "РТЛС" (Росія)

ТОВ "РТЛС" серійно випускає і реалізує комплект продуктів, необхідний і достатній для розгортання системи позиціонування в реальному часі. Системи РТЛС знаходять різноманітне застосування в багатьох галузях економіки і сферах діяльності завдяки:

- оперативності і наочності графічного представлення траєкторій руху людей і предметів;
- розвиненій гнучкій системі створення правил поведінки об'єктів;
- можливості оперативного оповіщення про всі відхилення від встановлених правил;
- можливості використання накопичених даних для ретроспективного аналізу;
- простоті інтеграції з існуючими системами автоматизації.

Типові системи вирішують найбільш поширені в багатьох галузях бізнес-задачі, комплектуються з готової до застосування апаратури та програмних модулів і не вимагають доопрацювання – просто налаштовуються стосовно специфіки конкретного підприємства.

Бізнес-задачі оптимізації ресурсів і підвищення безпеки вирішуються за рахунок аналізу пересувань контрольованих об'єктів (людей, транспортних засобів, механізмів, предметів) на контрольованій території – в приміщеннях і на відкритому повітрі. Ідентифікація та визначення місцезнаходження контрольованих об'єктів здійснюється системою позиціонування в реальному часі, на базі якої побудована бізнес-логіка системи оптимізації ресурсів і підвищення безпеки.

ТОВ «РТЛС» виробляє дві лінійки апаратури, що володіють різними функціональними можливостями, що дозволяє знаходити оптимальні рішення для різних завдань і умов застосування. Кожна лінійка – повнофункціональна, тобто дозволяє будувати закінчені системи, не вимагаючи придбання компонентів сторонніх фірм.

ЛЧМ (CSS) лінійка продуктів

Дозволяє мінімізувати витрати на створення інфраструктури, забезпечує точність позиціонування до одного метра.

Для ідентифікації та позиціонування пристрою цієї лінійки використовують бездротове з'єднання з лінійно-частотної модуляцією – ЛЧМ (CSS). Вузли, що входять до лінійки утворюють бездротову інфраструктуру (мережу) ZigBee або 6lowpan з підтримкою протоколу IPv6 RPL.

Надширокосмугова (UWB) лінійка продуктів

Відрізняється підвищеною точністю – до 20 см і підвищеною стійкістю до відбитих сигналів, тобто може використовуватися в приміщеннях, насичених обладнанням і металоконструкціями. Крім того, UWB апаратура використовується, коли необхідно контролювати велику кількість об'єктів на обмеженому просторі.

Кожна лінійка містить пристрої двох видів – мітки і вузли інфраструктури.

Мітки – малогабаритні пристрої, що прикріплюються до контрольованих об'єктів (людям, предметам, транспортним засобам тощо) і служать для ідентифікації та позиціонування цих об'єктів. Для ідентифікації використовується унікальний ідентифікатор мітки.

Вузли інфраструктури – анкери та шлюзи, які утворюють інфраструктуру системи позиціонування, служать опорними точками з фіксованими координатами, відносно яких визначається місцезнаходження міток, а також забезпечують зв'язок між мітками і сервером системи.

Особливість інфраструктури систем РТЛС полягає в тому, що кожен анкер виконує, щонайменше, дві функції:

- забезпечує вимірювання відстаней до міток;
- виконує функції вузла бездротової мережі.

Відповідно, кожен анкер має два радіоінтерфейси:

- CSS – для вимірювання відстаней і управління мітками;
- ZigBee, який служить для створення mesh-мережі.

Програмне забезпечення

ТОВ «РТЛС» поставляє модульну платформу позиціонування, яка може легко інтегруватися із зовнішніми системами, а також програмні комплекси для оптимізації роботи персоналу, управління парком внутрішньоцехового транспорту і забезпечення безпеки. [9]

2.3 Висновки

Розглянуто компанії та технології, які вони пропонують, для рішення завдань локального позиціонування. Багато компаній, особливо західних, пропонують рішення для аеропортів, які полегшують навігацію пасажирів, тогівельно-розважальних комплексів – для привернення уваги клієнтів до товарів та послуг та інші. Але більш детально розглянуто компанії, які спеціалізуються на рішеннях для підприємств і промисловості.

Проведено аналіз рішень іноземних компаній RealTrac Technologies та ТОВ "РТЛС" для гірничих підприємств. Рішення обох компаній реалізують головну функцію – локальне позиціонування техніки та людей в шахтах та кар'єрах, а також мають додаткові функції, такі як голосовий зв'язок, інформування про небезпеку зіткнення для транспорту, контроль за основними показниками життєдіяльності гірників, що має особливі переваги для забезпечення техніки безпеки в зоні проведення небезпечних робіт. Також ці компанії мають досвід впроваджень і велику кількість працюючих систем.

Однак, при розгляді існуючих рішень не було знайдено систем локального позиціонування вітчизняних виробників. Оскільки Україна має наукову та професійну базу, а також є потреби у впровадженні інноваційних рішень на

гірничих підприємствах України, було прийнято рішення в актуальності теми магістерської дисертації.

3 ТЕХНОЛОГІЇ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Використання систем позиціонування людей і матеріальних об'єктів – одне з актуальних напрямків вдосконалення технологічних і бізнес процесів в самих різних галузях діяльності. В багатьох додатках потрібне знання місцезнаходження в кожен момент часу (в реальному часі). Для цього проміжок часу між вимірами повинен бути таким, щоб об'єкт, рухаючись з характерною для нього швидкістю, встигав проходити відстань не більш подвоєною точності позиціонування. Наприклад, щоб забезпечити позиціонування в реальному часі з точністю один метр людини, що має характерну швидкість переміщення 1,5 м/с (5,4 км/год), виміри треба проводити з періодичністю не менше одного разу кожні 1,3 секунди.

Використання RTLS (систем визначення місця розташування в режимі реального часу) залежить від поставлених завдань і цілей.

Технології локального позиціонування поділяються:

- радіолокаційні технології;
- технології інерціального позиціонування;
- технології, засновані на зміні магнітного поля;
- оптичні технології;
- ультразвукові технології.

Найбільшою групою, що включає в себе кілька підгруп, є радіолокаційні технології. Радіолокаційні технології, в свою чергу, діляться на стандартні технології передачі даних (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee), так чи інакше пристосовані для вимірювання відстаней, і на ті, які, виходячи з фізичних властивостей модуляції, найбільш підходять для вимірювання відстаней (UWB, NFER та ін.). [10-13]

3.1 Радіолокаційні технології

Радіолокаційною називається та технологія, в якій для визначення місця розташування об'єктів використовуються радіосигнали. [10-13]

3.1.1 Позиціонування в стільникових мережах

Позиціонування в стільникових мережах – визначення місця розташування об'єкта на основі методу Cell of Origin – за координатами стільники, до якої підключений абонент. Точність позиціонування визначається радіусом стільники. Для пікостільники це 100-150 метрів, для більшості базових станцій – кілометр і більше. Більш точні методи визначення координат ґрунтуються на вимірі даних, отриманих від декількох найближчих до телефону базових станцій (AoA, ToA). Зазвичай це 100-200 метрів. Для підвищення точності до десятків метрів необхідно використовувати методи EoTD, OTDoA.

На практиці використовуються і інші, фірмові технології:

- Mobile Positioning System (Ericsson) – точність 100 м;
- RadioCamera TM – точність 50 м;
- SnapTrack TM (Wireless Assistant GPS) – точність до 15 м;
- Cursor TM (CPS) – точність 50 м;
- Finder (CellPoint) – точність 75 м.

Ціна рішення тим вище, чим точніше позиціонування.

Ідентифікація об'єкта в стільникових мережах можлива, але зазвичай таке завдання не ставиться.

Переваги:

- можливість використання існуючої інфраструктури стільникових операторів.

Недоліки:

- ліцензований діапазон частот;

- низька точність позиціонування.

Методи визначення позиції: AoA, ToA, EoTD, OTDoA.

3.1.2 Технологія UWB позиціонування

Технологія UWB (Ultra Wideband – надширокосмугова) використовує короткі імпульси з максимальною пропускнуою здатністю при мінімальній центральній частоті. У більшості виробників центральна частота становить кілька гігагерц, а відносна ширина смуги – 25-100%. Технологія використовується в зв'язку, радіолокації, вимірюванні відстаней і позиціонуванні.

Це забезпечується передачею коротких імпульсів, широкосмугових за своєю природою. Ідеальний імпульс (хвиля кінцевої амплітуди і нескінченно малої тривалості), як показує аналіз Фур'є, забезпечує нескінченну смугу пропускання. UWB сигнал не схожий на модульовані синусоїдальні хвилі, а нагадує серію імпульсів.

Виробники пропонують різні варіанти UWB технології. Розрізняються форми імпульсів. У деяких випадках використовуються щодо потужні поодинокі імпульси, в інших – сотні мільйонів малопотужних імпульсів в секунду. Застосовується як когерентна (послідовна) обробка сигналу, так і некогерентна. Все це призводить до значної розбіжності характеристик UWB систем різних виробників.

Принципові обмеження UWB технології:

- важко побудувати систему з істотною потужністю передачі (типова потужність передавача – 50 мкВт, дуже потужного – 10 мВт);
- обмеження з боку органів частотного регулювання (в зв'язку з цим системи, як правило, використовуються в приміщеннях, де їх малопотужний шумоподібний сигнал не впливає на інші системи і навіть не детектується).

Переваги:

- високий рівень перешкодозахищеності;
- висока безпека;

- чим вище частота, тим більше точність (але тим менше радіус дії).

Недоліки:

- малий радіус дії (до 10 м);
- складна інфраструктура.

Методи визначення позиції: AoA, ToF, ToA, TDoA.

3.1.3 Технологія Wi-Fi

Wi-Fi – це технологія передачі даних середнього радіусу дії, зазвичай покриває десятки метрів, яка використовує діапазони частот, що не ліцензується, для забезпечення доступу до мережі. Оскільки Wi-Fi з самого початку не призначалася для використання в якості технології локального позиціонування, стандартна мережа надає інформацію з точністю лише до точки доступу, тому для підвищення точності визначення місцеположення використовується RSSI або при деяких доопрацювань інші спеціалізовані методи (наприклад, TDoA).

Переваги:

- широке розповсюдження;
- низька вартість обладнання.

Недоліки:

- для підвищення точності, потрібне збільшення щільності розташування базових станцій;
- завантаженість ефіру Wi-Fi;
- недостатня точність визначення місця розташування для ряду завдань, навіть при застосуванні спеціальних розширень Wi-Fi (в ідеальних умовах 3-5 метрів, в реальності 10-15 метрів).

Методи визначення позиції: RSSI, на основі TDoA.

3.1.4 Технологія WiMax

WiMax – бездротові мережі масштабу міста (реалізація технології «останньої милі»). Це технологія працює в 2-х діапазонах частот: 2-11 ГГц – для з'єднання базової станції з абонентською, 10-66 ГГц – між базовими станціями для передачі даних на великі відстані в межах прямої видимості. Ця технологія від початку не була пристосована для визначення місця розташування (як і Wi-Fi).

Переваги:

- зона покриття (кілька кілометрів);
- надійність;
- висока пропускна здатність.

Недоліки:

- дороге обладнання та обслуговування;
- низька точність позиціонування.

Методи визначення позиції: RSSI, OTDoA.

3.1.5 Технологія ZigBee

ZigBee – стандарт для набору високорівневих протоколів зв'язку, що використовують невеликі, малопотужні цифрові трансивери, заснований на стандарті IEEE 802.15.4 для бездротових персональних мереж.

Технологія ZigBee дозволяє створювати бездротові мережі з автоматичною ретрансляцією повідомлень, що самоорганізуються та самовідтворюються. ZigBee призначений для мобільних пристроїв, що вимагають гарантованої безпечної передачі даних при відносно невеликих швидкостях і можливості тривалої роботи мережевих пристроїв від автономних джерел живлення (батарей).

Стандарт ZigBee передбачає використання частотних каналів в діапазонах 868 МГц, 915 МГц і 2,4 ГГц. Найбільші швидкості передачі даних і найвища стійкість досягаються в діапазоні 2,4 ГГц. Тому більшість виробників мікросхем випускають

приймачі саме для цього діапазону, в якому передбачено 16 частотних каналів з кроком 5 МГц.

Швидкість передачі даних разом зі службовою інформацією в ефірі становить 250 кбіт/с. При цьому середня пропускна спроможність вузла для корисних даних, в залежності від завантаженості мережі і кількості ретрансляцій, може лежати в межах 5 ... 40 кбіт/с.

Відстані між вузлами мережі становлять десятки метрів під час роботи всередині приміщень і сотні метрів на відкритому повітрі. За рахунок ретрансляції зона покриття мережі може значно збільшуватися.

Переваги:

- підтримує як прості топології мережі («точка-точка», «дерево» і «зірка»), так і mesh-топологію з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень;
- містить можливість вибору алгоритму маршрутизації, в залежності від вимог програми та стану мережі;
- простота розгортання, обслуговування та модернізації;
- здатність до самоорганізації та самовідтворення;
- низький рівень споживання енергії.

Недоліки:

- низька швидкість передачі даних.

Методи визначення позиції: RSSI, TDoA, ToF.

3.1.6 Технологія MiWi

MiWi – це бездротовий протокол, розроблений компанією Microchip, призначений для побудови дешевих радіомереж з передачею даних на невеликі відстані. Фактично є спрощеним аналогом ZigBee.

Переваги:

- є дешевою альтернативою стеку протоколів ZigBee;

- є ідеальним рішенням для дешевих мережевих пристроїв з обмеженим обсягом пам'яті;
- надається компанією без ліцензії (за умови застосування трансивера MRF24J40 і мікроконтролерів Microchip);
- підтримує шифрування повідомлень;
- підтримує mesh-мережі, «вузол-вузол» (peer-to-peer) з'єднання та інші топології.

Недоліки:

- необхідність установки додаткового програмного забезпечення;
- пропрієтарна технологія;
- дороге обслуговування;
- низька швидкість передачі даних призводить до обмежень за розміром мережевого сегмента.

Методи визначення позиції: RSSI.

3.1.7 Технологія NFER

NFER (Near-field electromagnetic ranging) – відносно нова технологія позиціонування, яка використовує мітки-передавачі і одне або кілька приймаючих пристроїв. Технологія заснована на тому, що зсув фаз між електричної та магнітної складової електромагнітного поля змінюється в міру віддалення від випромінюючої антени.

Поблизу невеликий (відносно довжини хвилі) антени електрична і магнітна складові поля радіохвилі зміщені по фазі на 90 градусів. При збільшенні відстані від антени ця різниця зменшується. При достатньому видаленні від антени зміщення фаз зменшується до нуля.

Оптимальна для вимірювання відстані дистанція між приймачем і передавачем лежить в межах половини довжини хвилі. Відповідно, щоб забезпечити досить велику дистанцію передавачі мітки повинні використовувати відносно низькі

частоти. Зазвичай від 1 МГц (довжина хвилі 300 м, оптимальна дистанція до 150 м) до 10 МГц (довжина хвилі 30 м, оптимальна дистанція до 15 м). Залежно від вибору частоти, NFER має потенціал для досягнення точності до 30 см на відстані до 300 метрів.

Відносно низька частота радіохвиль полегшує їх проходження в складних виробничих середовищах. Радіохвилі огинають перешкоди, не відображаються. Тому NFER технологія має переваги при складній конфігурації приміщень з великою кількістю перешкод.

Переваги:

- підходить для застосування в приміщеннях зі складною геометрією;
- позиціонування з точністю 0,5-1 метр (в теорії) на відстані 20-30 метрів.

Недоліки:

- відносно низька ефективність антени. Найбільш ефективна антена, співмірна з довжиною хвилі – це чверть хвильовий монополь. У разі NFER розміри такої антени мали б становити десятки метрів, що є неприйнятним;
- неузгодженість антени вимагає збільшення потужності передавача і веде до відносно великих габаритів і вазі міток.

3.1.8 Технологія NanoLOC

NanoLOC – це технологія компанії Nanotron Technologies, багато в чому схожа з більш старою версією NanoNET. Крім швидкості передачі інформації в 1 Мбіт в секунду на відстані в кілька сотень метрів, ця технологія дозволяє визначати відстань між приймачами. Похибка у визначенні відстані – 2 метри, що дозволяє визначати, де знаходиться приймач-передавач по відношенню до інших таких приймачів-передавачів. Якщо необхідно визначення в тривимірній системі координат, знадобляться чотири (і більше) передавача NanoLOC, координати розташування яких вже відомі.

Переваги:

- можливість роботи в неліцензованих діапазонах частот при потужності до 100 мВт;
- методи, що використовуються для визначення місця розташування забезпечують можливість локалізації об'єктів за межами периметра зони обслуговування зі зниженням точності;
- великий вибір готового ПО (з відкритими кодами);
- автокореляційні властивості сигналу роблять технологію стійкою до зовнішніх перешкод.

Недоліки:

- обмеження за кількістю пристроїв в сегменті;
- пропрієтарна технологія.

Методи визначення позиції: RSSI, TDoA, ToF, TWR.

3.1.9 Технологія DECT

DECT – технологія бездротового зв'язку на частотах 1880-1900 МГц з модуляцією GMSK ($BT = 0,5$), використовується в сучасних радіотелефонах. Дана технологія дозволяє визначати місце розташування об'єкта з точністю до певної базової станції без використання спеціалізованого програмного забезпечення, а також з точністю 5-10 метрів на відкритому просторі або в межах приміщень, що знаходяться в зоні обслуговування системи зі спеціалізованим програмним забезпеченням. Як і для більшості технологій, точність значно знижується при роботі в спорудах, матеріали конструкцій яких мають різномірну структуру.

Переваги:

- простота розгортання DECT-мереж;
- не потребує спеціалізованого обслуговування;
- не потребує ліцензування;
- гарна інтеграція з системами стаціонарної корпоративної телефонії.

Недоліки:

- відносно невелика дальність зв'язку (через обмеження потужності самим стандартом);
- невисока швидкість передачі даних;
- потрібне спеціалізоване обладнання.

Методи визначення позиції: RSSI.

3.1.10 Технологія Bluetooth

Bluetooth – специфікація бездротових персональних мереж ближнього радіусу дії, яка працює в частотному діапазоні 2,4-2,4835 ГГц. У Bluetooth несуча частота сигналу змінюється 1600 разів в секунду псевдовипадковим чином, це дозволяє уникнути проблем при функціонуванні групи пристроїв в безпосередній близькості, а також підвищити безпеку передачі даних.

Переваги:

- підвищена безпека і перешкодозахищеність;
- низький рівень споживання енергії (BLE);
- недороге обладнання;
- компактність модулів.

Недоліки:

- неможливість досягнення високої точності визначення місця розташування.

Методи визначення позиції: RSSI.

3.1.11 Системи позиціонування з використанням активних RFID-міток

Активні радіочастотні мітки використовуються при необхідності відстеження предметів на відносно великих відстанях (наприклад, на території сортувальної площадки). Робочі частоти активних RFID: 455 МГц, 2,4 ГГц або 5,8 ГГц. Радіус дії – до ста метрів. Живлення активних RFID-міток здійснюється від вбудованого акумулятора.

Існують активні мітки двох типів: радіомаяки і транспондери. Транспондери включаються, отримуючи сигнал зчитувача. Вони застосовуються в автоматичних системах оплати проїзду, на КПП, в'їзних порталах та інших подібних системах.

Радіомаяки використовуються в системах позиціонування реального часу. Радіомаяк відправляє пакети з унікальним ідентифікаційним кодом по команді або із заданою періодичністю. Пакети приймаються як мінімум трьома приймачами, розташованими по периметру контрольованої зони. Відстань від маячка до приймачів з фіксованими координатами визначаються по куту напрямку на маячок (AoA), за часом приходу сигналу (ToA) або за часом поширення сигналу від маячка до приймача (ToF).

Інфраструктура системи будується на базі провідної мережі і в двох останніх випадках (ToA, ToF) вимагає синхронізації.

Термін «активні RFID» охоплює великий клас різноманітних виробів. Тому характеристики активних радіочастотних міток, включаючи точність позиціонування і вартість, сильно розрізняються, залежно від конкретного виробника.

3.2 Технологія інерційного позиціонування

Технологія інерційного позиціонування – це визначення відносного місцеположення і параметрів руху різних об'єктів. Позиціонування є автономним, тобто не вимагає наявності зовнішніх орієнтирів або надходять ззовні сигналів.

Сутність інерційного позиціонування полягає у визначенні прискорення об'єкта і його кутових швидкостей за допомогою встановлених на об'єкті, що рухається датчиків (акселерометри, гіроскопи та ін.). Отримані таким чином дані дозволяють визначити швидкість, пройдений шлях об'єкта та ін.

Переваги:

- автономність.

Недоліки:

- є уточнюючою технологією, тому що вимагає періодичного узгодження місця розташування за допомогою реперних точок;
- помилкові спрацьовування (через неправильне визначення характеру руху);
- високе енергоспоживання.

3.3 Технології позиціонування, засновані на зміні магнітного поля

Технології позиціонування, засновані на зміні магнітного поля – це визначення місця розташування об'єкта, засноване на вимірі локальних змін магнітного поля, які можуть послужити критерієм для магнітного позиціонування. Для того, щоб почати працювати з такими технологіями, необхідно спочатку скласти карту змін магнітного поля.

Переваги:

- не потрібна розстановка анкерних точок.

Недоліки:

- необхідність підтримки змісту карт змін магнітного поля в актуальному стані;
- низький рівень точності локації (залежить від кількості і інтенсивності локальних змін магнітного поля).

3.4 Ультразвукові технології позиціонування.

Ультразвукові датчики працюють на частотах від 40 до 130 кГц. Відстань розраховується за часом проходження сигналу від датчика до приймача. Використовуючи кілька приймачів, можна точно розрахувати місце розташування передавача. Точність підвищується при використанні чотирьох і більше приймачів.

Переваги:

- висока точність позиціонування.

Недоліки:

- ослаблення сигналу через перешкоди;
- помилкові сигнали через відбиття;
- перешкоди від високочастотних джерел звуку;
- малий радіус.

Для виключення недоліків, описаних вище, потрібне ретельне планування системи, а також постійне калібрування, з метою зменшення впливу похибок в роботі системи.

3.5 Оптичні технології позиціонування.

Дані технології представлені двома підгрупами – технологіями інфрачервоного і лазерного позиціонування.

3.5.1 Інфрачервоне позиціонування

У системах інфрачервоного позиціонування мобільні пристрої випромінюють імпульси в ІЧ діапазоні з певною періодичністю. Імпульси сприймаються приймачами системи, і місцезнаходження приладу розраховується за часом проходження сигналу від джерела до приймача. У деяких випадках функції приймача і передавача об'єднані, тобто робота йде з відбитим сигналом.

Переваги:

- висока дальність вимірювань.

Недоліки:

- перешкоди від сонячного світла, пилу.

3.5.2 Лазерне позиціонування

Лазерне позиціонування проводиться за таким же принципом як інфрачервоне і ультразвукове. Мобільні пристрої випускають лазерні імпульси з певною періодичністю. Ці імпульси сприймаються приймачами системи, і місцезнаходження приладу розраховується за часом проходження сигналу від джерела до приймача. Випромінювач може бути і приймачем відразу, тобто може працювати і на відбитому сигналі.

Переваги:

- висока точність вимірювань.

Недоліки:

- обмежене застосування;
- для визначення місця розташування необхідна пряма видимість.

3.6 Висновки

Вибір технології для визначення координат мобільних об'єктів залежить від поставленої задачі – від того, які властивості в конкретному випадку потрібні. При виборі системи для вирішення завдань локального позиціонування і моніторингу доцільно враховувати наступне:

- рішення на радіомережах стандарту DECT (Ericsson, Siemens DPS) не отримали широкого поширення в зв'язку з деякими особливостями роботи та недостатньою точністю (5-10 м) визначення місця розташування;

– застосування радіомереж Wi-Fi (стандарт IEEE 802.11a/g/n) на обладнанні Aruba, Cisco, HP, що працюють під відповідним програмним забезпеченням, або на обладнанні будь-якого іншого виробника, який функціонує під ПО Ekahau, доцільно тільки в разі, коли на підприємстві вже розгорнута добре спланована Wi-Fi-інфраструктура і потрібно відстеження обладнання, оснащеного Wi-Fi-пристроями (смартфони, ноутбуки, Wi-Fi-теги та ін.). При цьому точність позиціонування таких систем становить 5-10 м. Точність до 1 м, що заявлена виробниками, досяжна тільки при збільшенні щільності точок доступу в 1,5-2 рази. Крім того, не всі обладнання стандарту IEEE 802.11a/g/n, визначено як обладнання для мереж малого радіусу дії, що накладає деякі обмеження на його використання;

– рішення на базі радіомереж стандарту UWB (Time Domain, Zebra) дають високу точність (десятки сантиметрів), але, мають дуже малий радіус дії (до 10- 15 м від стаціонарної точки) і поки мають найвищу вартість;

– радіомережі nanoLOC (стандарт IEEE 802.15.4a) – CSL, RealTrac Technologies дають високу точність (до 1-3 м, а з використанням IMU – до 1 м), мають значний радіус дії (до 500 м на відкритій місцевості) і при цьому визначені як пристрої малого радіусу дії, що дозволяє їх застосовувати без отримання дозволів на використання радіочастот.

Єдиними стандартами з перерахованих, спочатку розробленими для вимірювання відстаней по радіоканалу, є стандарти IEEE 802.15.4a CSS (nanoLOC) і UWB. Таким чином, системи локального позиціонування, побудовані на базі цих стандартів, в рівних умовах (однакові виробничі площі, будівлі, перешкоджаючі обстановка) мають кращі характеристики, у порівнянні з рішеннями, що використовують інші стандарти.

В будь-якій системі позиціонування визначення координат мобільного об'єкта проводиться за допомогою заздалегідь розгорнутої інфраструктури – мережі засобів вимірювань, координати яких заздалегідь відомі.

Основні характеристики радіочастотних технологій наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики радіочастотних технологій

Технологія	Діапазон робочих частот	Зона охоплення	Точність
UWB	3-10 ГГц	До 40 м	До 0,1 м
Wi-Fi (IEEE 802.11a/g/n)	2,4 ГГц, 5 ГГц	До 100 м	До 5 м
WiMax	2-66 ГГц	До 5 км	До 50 м
MiWi	2,4 ГГц	До 300 м	До 3 м
ZigBee (IEEE 802.15.4)	868 МГц, 915 МГц, 2,4 ГГц, 6 ГГц	До 300 м	До 2 м
NFER	30 МГц	До 70 м	До 1 м
NanoLOC (IEEE 802.15.4a)	2,4 ГГц	До 900 м	До 1 м
DECT	1900 МГц	До 200 м	До 5 м
GSM	800 МГц, 900 МГц, 1850-3800 МГц, 2,6 ГГц	До кількох десятьків км	До 50 м
Bluetooth (IEEE 802.15.1)	2,4 ГГц	До 150 м	До 5 м

4 МЕТОДИ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Всі методи локального позиціонування, в основі яких лежить використання радіохвиль можна умовно поділити на 3 групи, в залежності від способу визначення місцезнаходження об'єкта (мобільного пристрою) [14]:

- метод, заснований на використанні тріангуляції;
- метод, заснований на використанні трилатерації;
- метод, заснований на вимірюванні сили сигналу.

4.1 Метод, заснований на використанні тріангуляції

Метод AoA (angle of arrival) заснований на визначенні напрямку на джерело сигналу. Для цього використовуються базові станції, забезпечені декількома антенами, антеною, що обертається, або фазованими антенними решітками. Отримавши напрямлення на джерело сигналу від БС, можна визначити місце його знаходження. Чим більше кількість БС, тим точніше можна визначити цю зону.

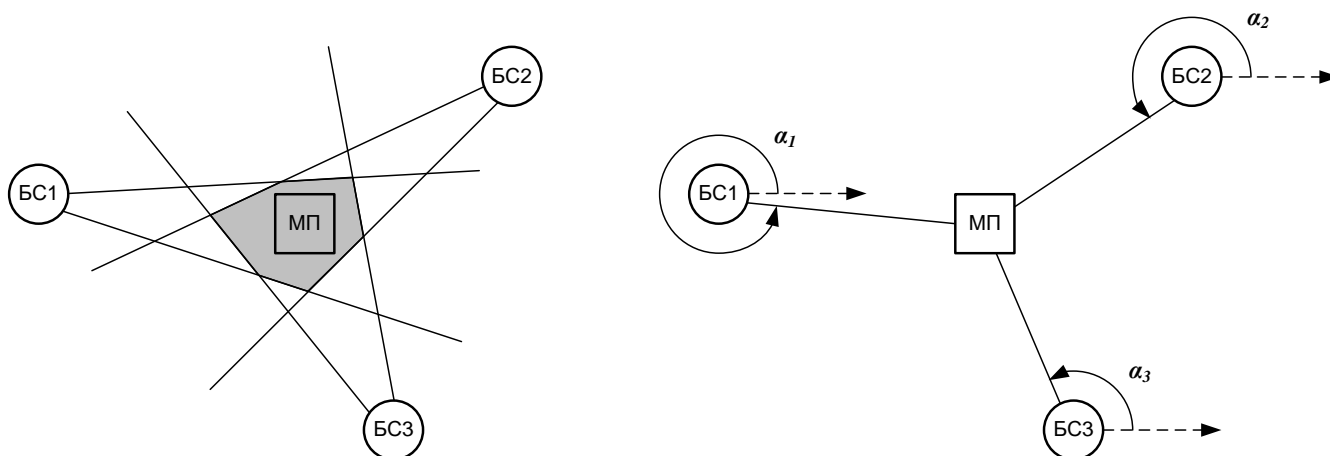


Рисунок 4.1 – Визначення місцезнаходження мобільного пристрою з використанням тріангуляції, коли відомо напрямки секторів антен базових станцій (зліва) або кут базової стації по відношенню до мобільного пристрою в деякій системі відліку (зправа)

Переваги:

- прості алгоритми визначення місця розташування мобільного пристрою;
- можливість роботи на різних фізичних принципах;
- великий радіус дії.

Недоліки:

- складність антени;
- низька точність визначення місця розташування мобільного пристрою.

4.2 Методи, засновані на використанні трилатерації

Трилатерація – геометричний метод, який використовує відстань між трьома базовими станціями і мобільним пристроєм, для визначення його положення.

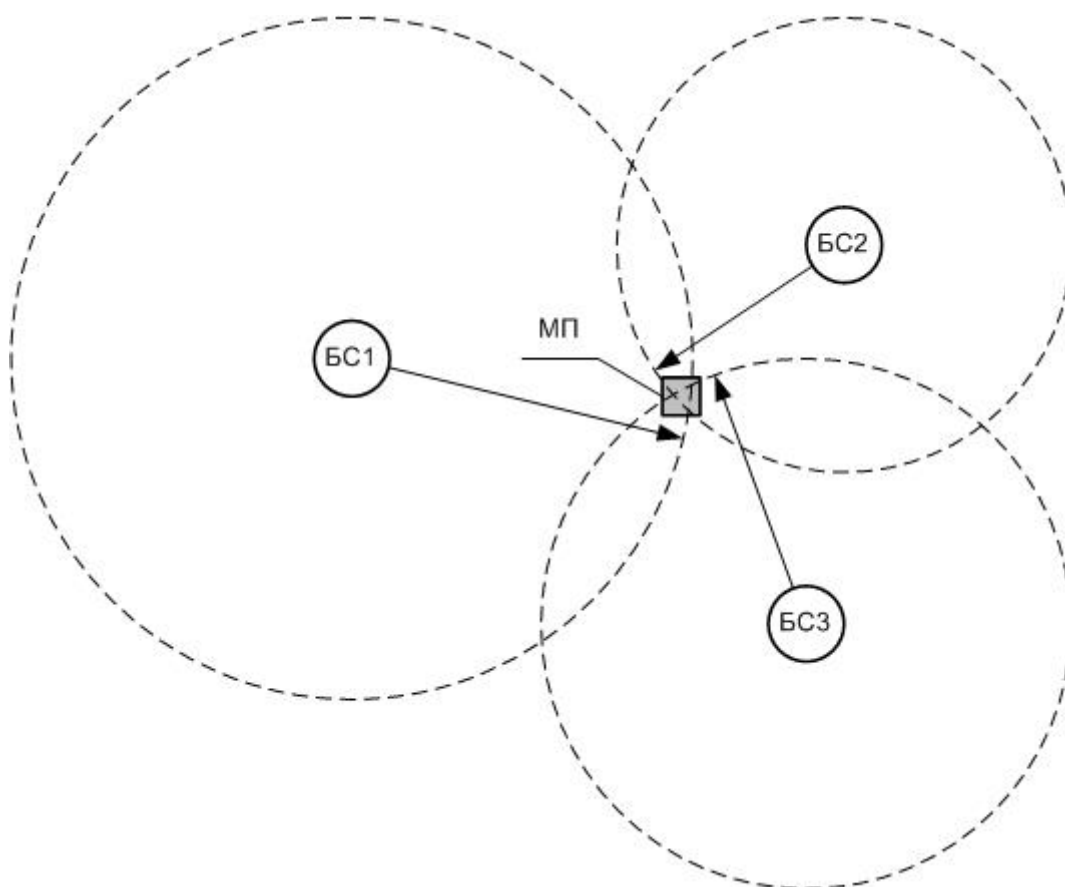


Рисунок 4.2 – Визначення місцезнаходження на основі методу трилатерації

4.2.1 Метод ToA

Метод ToA (time of arrival) заснований на вимірюванні затримки поширення радіосигналу між мобільним пристроєм і базовою станцією. Мінімальна кількість вимірювань для визначення місця розташування МП дорівнює трьом. Мобільний пристрій відправляє сигнал в точно відомий базовій станції час. БС вимірює часовий інтервал між відправленням сигналу мобільним пристроєм і отриманням його. Відстань визначається за формулою:

$$S = t \cdot c,$$

де t – час подолання хвилею відстані від МП до БС,
 c – швидкість розповсюдження радіохвилі (швидкість світла).

Переваги:

- мале енергоспоживання мобільним пристроєм;
- висока точність визначення місця розташування мобільного пристрою;
- великий радіус дії.

Недоліки:

- необхідність синхронізації часу на всіх БС і МП;
- складні алгоритми визначення місця розташування мобільного пристрою.

4.2.2 Метод TDoA

Метод TDoA (time difference of arrival) заснований на вимірюванні різниці в часі передачі сигналу від мобільного пристрою до БС, з синхронізованими годинами і заздалегідь відомим місцем розташування. Знаючи різницю в часі отримання сигналу за допомогою математичної обробки можна отримати відстань від мобільного пристрою до базових станцій.

Переваги:

- мале енергоспоживання мобільним пристроєм;
- висока точність визначення місця розташування мобільного пристрою;
- великий радіус дії.

Недоліки:

- необхідність синхронізації часу між усіма мобільними пристроями;
- складні алгоритми визначення місця розташування мобільного пристрою.

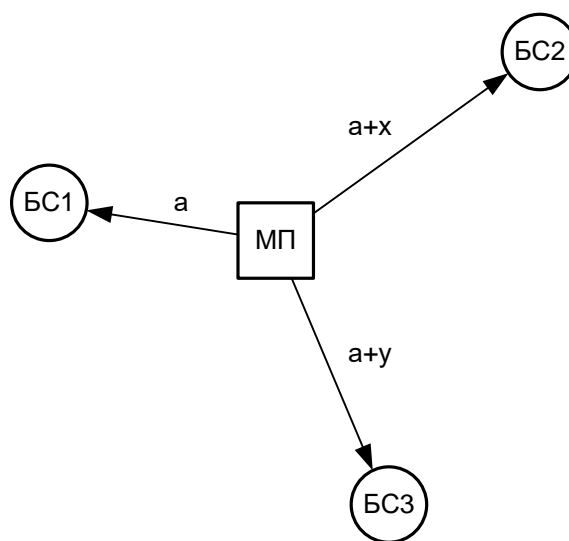


Рисунок 4.3 – Метод TDoA

4.2.3 Метод ToF

Метод ToF (time of flight) заснований на вимірюванні часу, який витрачає електромагнітна хвиля на подолання відстані між БС до мобільного пристрою і повернення до БС після його відбиття від МП. Отримавши цей час і знаючи швидкість руху хвилі, можна обчислити відстань від мобільного пристрою до БС:

$$S = \frac{1}{2} \cdot t \cdot c$$

де t – час подолання хвилею відстані від БС до МП,

c – швидкість розповсюдження радіохвилі (швидкість світла).

Переваги:

- мобільний пристрій – пасивний (не споживає енергію);
- висока точність визначення місця розташування мобільного пристрою;
- великий радіус дії;
- відсутність необхідності синхронізації між пристроями.

Недоліки:

- МП має відображати електромагнітну хвилю в напрямку БС;
- неможливо розділити мобільні пристрої (для ідентифікації).

4.2.4 Метод TWR

Метод TWR (two-way ranging) полягає в наступному: БС фіксує час відправлення сигналу (T_1), мобільний пристрій фіксує час отримання сигналу (t_1), а також час відправлення сигналу назад на БС (t_2). У сигналі від мобільного пристрою до базової станції передаються часи t_1 і t_2 . БС отримує сигнал з мобільного пристрою і фіксує час отримання (T_2). Відстань обчислюється за формулою:

$$S = \frac{1}{2} \cdot c \cdot ((T_2 - T_1) - (t_2 - t_1))$$

Ініціатором вимірювання може бути мобільний пристрій з аналогічним алгоритмом.

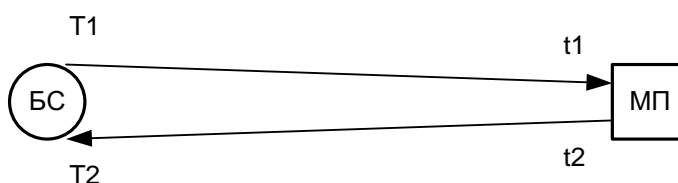


Рисунок 4.4 – Метод TWR

Переваги:

- висока точність визначення місця розташування мобільного пристрою;
- великий радіус дії;
- відсутність необхідності синхронізації між пристроями.

Недоліки:

- високе енергоспоживання МП.

4.2.5 Метод SDS-TWR

Метод SDS-TWR (symmetrical double-sided two-way ranging) заснований на повторенні процедури «запит – відповідь» в зворотному напрямку, що може служити для перевірки правильності розрахунку.

Інтервали часу вимірюються двома пристроями, які беруть участь в процесі вимірювання, незалежно один від одного (пристрої не синхронізовані).

Процес двостороннього двонаправленого вимірювання відстані відображено на рисунку 4.5. Кожен пристрій, мобільний пристрій і базова станція, що бере участь в процесі вимірювання має свою вісь часу. Для першого циклу вимірювання відзначені моменти відправлення запиту мобільним пристроєм (t_{MB}), прийому запиту базовою станцією (t_{BP}), відправлення підтвердження базовою станцією (t_{BV}) і прийому підтвердження мобільним пристроєм (t_{MP}).

Ця технологія використовує два періоди часу, які природним чином присутні при передачі сигналу для визначення відстані між двома станціями. Це time of flight – час поширення сигналу ($T_{ПС}$) між двома бездротовими пристроями і відомий час відгуку ($T_{відгуку}$), що встановлюється програмно, – затримка відправлення підтвердження бездротового пристрою. Час (затримка) відгуку визначається необхідністю обробки пакета запиту, може складати декілька мілісекунд. Затримка відгуку завжди багато більша за час поширення сигналу ($T_{відгуку} \gg T_{ПС}$), зазвичай становить кілька (до п'яти) мілісекунд і є основним джерелом похибки, пов'язаної з відхиленнями частоти тактових генераторів пристроїв.

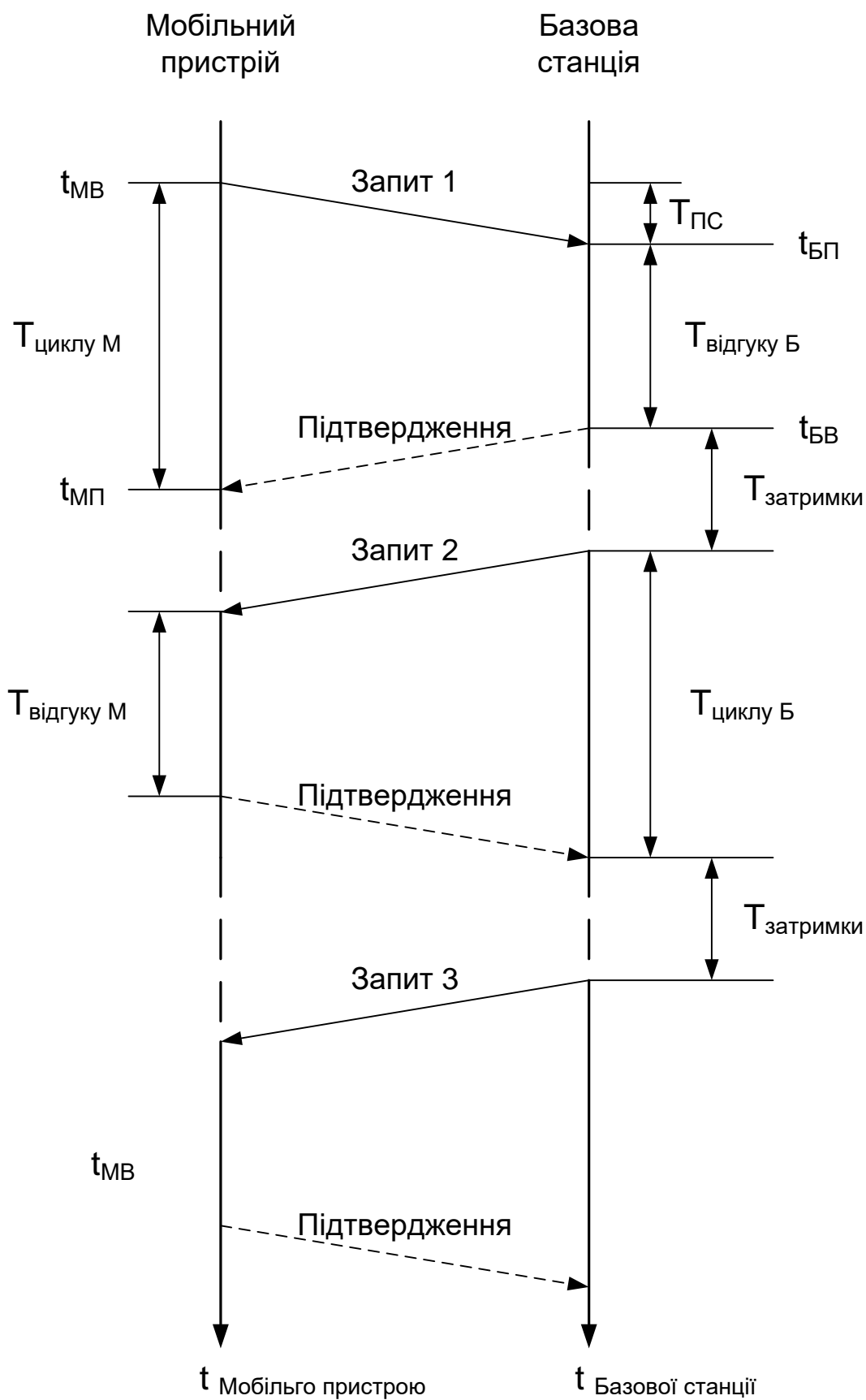


Рисунок 4.5 – Обмін пакетами у процесі виміру відстані методом SDS-TWR

4.2.6 Метод NFER

NFER (near-field electromagnetic ranging) – метод вимірювання відстані в ближньому електромагнітному полі, де існує зсув фаз між електричної та магнітними компонентами електромагнітної хвилі. БС випромінює електромагнітну хвилю заданої частоти. Мобільний пристрій за допомогою двох антен вимірює амплітуду окремо магнітної і електричної складових хвилі і обчислює зсув фаз між ними. Знаючи довжину хвилі і різницю фаз між ними (ця різниця змінюється від 90° біля БС до нуля на відстані рівному половині довжині хвилі), можна обчислити відстань від БС до мобільного пристрою.

Переваги:

- висока точність визначення місця Розташування мобільного пристрою;
- можливість роботи в закритих приміщеннях.

Недоліки:

- малий радіус дії;
- складні антени;
- складні алгоритми визначення місця розташування мобільного пристрою.

4.3 Метод, заснований на вимірюванні сили сигналу

RSSI (received signal strength indicator) – це індикатор рівня потужності сигналу. Метод дозволяє визначити місце розташування пристрою, ґрунтуючись на рівні інтенсивності сигналу, отриманому БС або навпаки. Для використання цього методу застосовується або перетворення рівня потужності сигналу в відстань, або встановлюються відповідності до карт покриття.

Даний метод добре працює на малих відстанях, але при збільшенні дальності дає велику похибку відповідно до специфіки поширення радіосигналу.

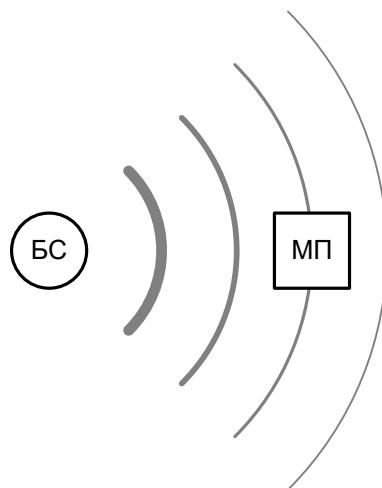


Рисунок 4.6 – Метод заснований на вимірюванні сили сигналу (RSSI)

Переваги:

- мале енергоспоживання мобільним пристроєм;
- низька вартість.

Недоліки:

- низька точність визначення місця розташування мобільного пристрою;
- складні алгоритми визначення місця розташування мобільного пристрою.

4.4 Висновки

Для визначення місця розташування мобільних пристроїв більшість систем використовують комбінацію методів. Такий підхід дозволяє усунути недоліки одного методу, та доповнити властивостями іншого. До того ж, різні системи ставлять перед собою різні завдання, для вирішення яких можуть знадобитися різні методи. Метод вимірювання відстані залежить від наявного устаткування і наявності синхронізації між базовою станцією та мобільним пристроєм.

5 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ НА ГІРНИЧОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

5.1 Розробка та опис структурної схеми

Структурна схема системи управління транспортними засобами представлена на рисунку 5.1. Основними компонентами системи є мітки, які взаємодіють з інфраструктурою через двонаправлений радіо інтерфейс за стандартом ISO 24730-5. Інфраструктура забезпечує прикладний програмний інтерфейс (API) з сервером, що дозволяє останньому управляти інфраструктурою, мітками і процесом вимірювань, а також отримувати результати вимірювання та інформацію про стан міток (рисунок 5.2).

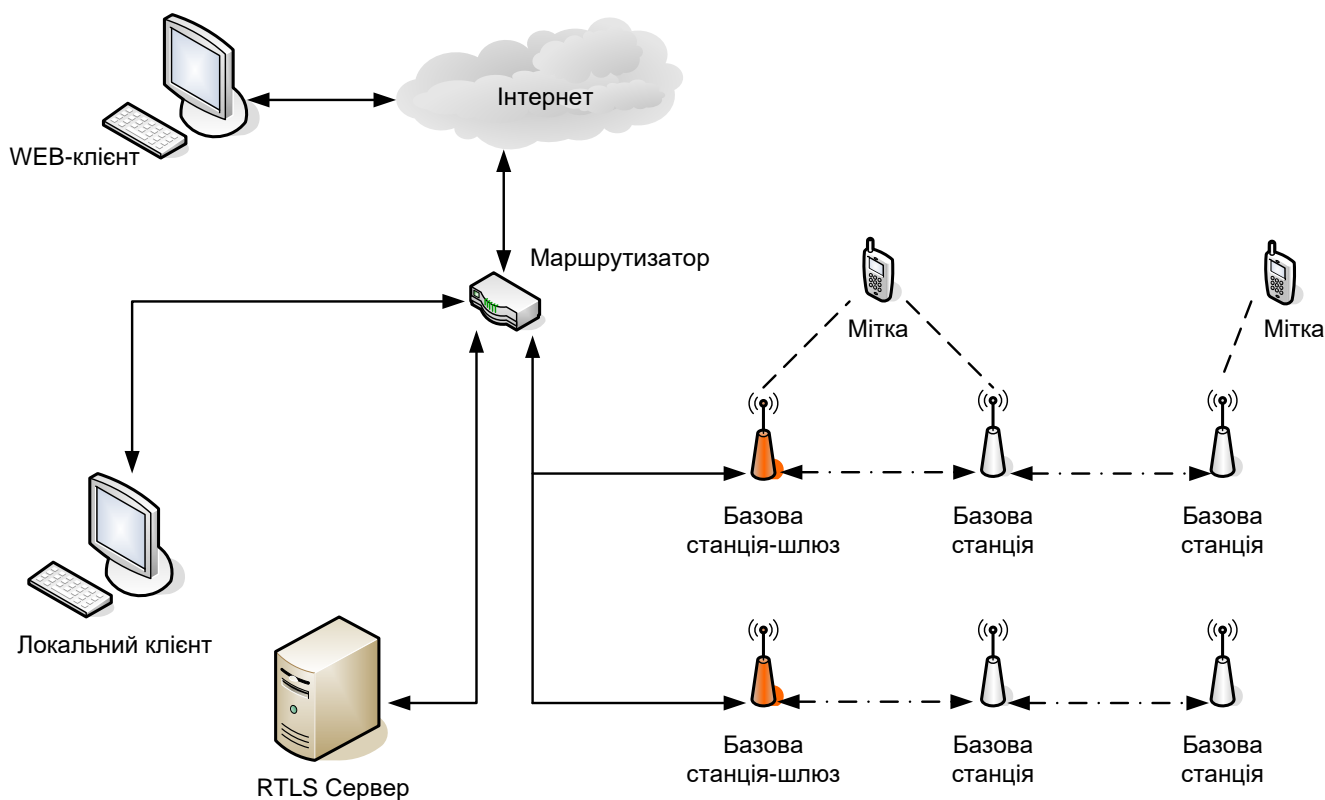


Рисунок 5.1 – Структурна схема системи на апаратному рівні

Особливість такої структури полягає в тому, що мітки самі по собі не є елементами інфраструктури. Тому вони не беруть участь у формуванні мережі,

маршрутизації тощо. Тобто звільнені від всіх завдань, крім вимірювання відстаней до базових станцій і передачі результатів на сервер через транспортну інфраструктуру. Це дозволяє істотно спростити мітки і відповідно знизити енергоспоживання і вартість міток.

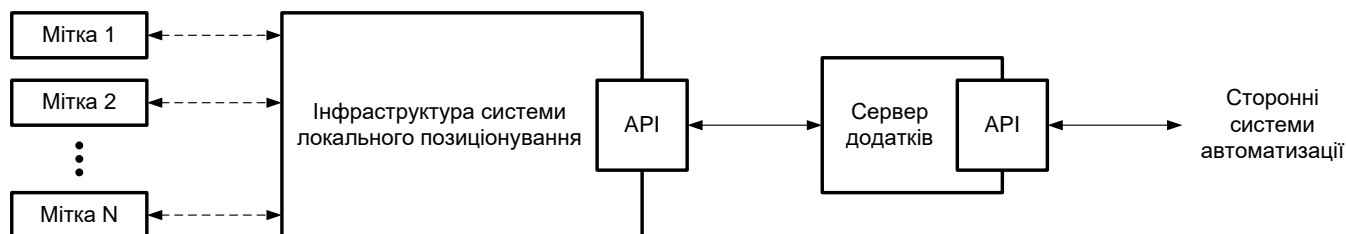


Рисунок 5.2 – Структурна схема системи на програмному рівні

Мітки взаємодіють з інфраструктурою через двонаправлений радіо інтерфейс. Інтерфейс визначає частотний діапазон, форму радіосигналу, способи модуляції і кодування, формати пакетів, а також команди та звіти, якими обмінюються мітки і інфраструктура. Стек протоколів інтерфейсу включає (рисунок 5.3):

- фізичний рівень (PHY), що визначає робочу частоту, ширину каналу і інші характеристики середовища передачі;
- рівень доступу до середовища (MAC), що визначає параметри кодування, формат пакетів тощо;
- рівень додатків мітки (API), що визначає можливі стани мітки, порядок їх зміни, команди, протоколи взаємодії міток та інфраструктури.

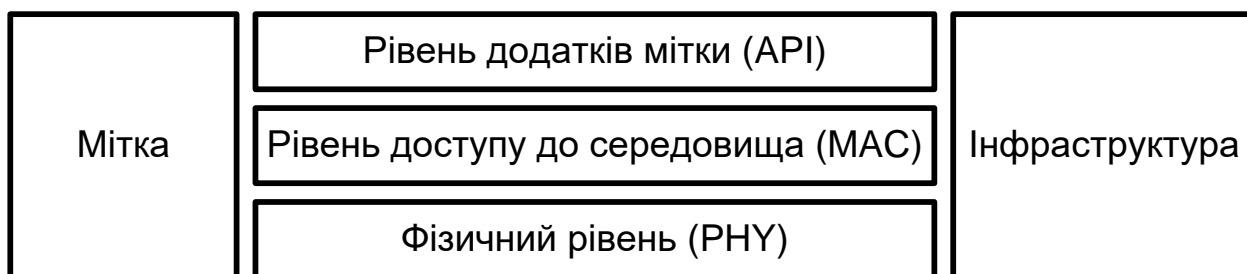


Рисунок 5.3 – Стек протоколів радіо інтерфейсу мітки

Ключовою умовою простоти розгортання інфраструктури і зниження її вартості є можливість «автономної» роботи елементів інфраструктури. Під автономністю тут розуміється відсутність необхідності точної синхронізації годин елементів інфраструктури (базових станцій), щодо яких позиціонуються мітки. Базові станції, що розміщені на фіксованих позиціях просто взаємодіють з мітками в процесі позиціонування.

Ця умова реалізується за рахунок використання симетричного двостороннього двонаправленого вимірювання відстані – Symmetrical Double-Sided Two-Way Ranging (SDS-TWR). Мітка при цьому, так само як інфраструктура, повинна підтримувати двосторонній зв'язок. І хоча, з одного боку, вимога забезпечення двостороннього зв'язку дещо ускладнює реалізацію мітки, з іншого боку, наявність двостороннього зв'язку, веде до спрощення мітки, так як в цьому випадку не потрібно додатковий зовнішній інтерфейс для управління, програмування і налаштування мітки, оновлення вбудованого в мітку програмного забезпечення.

В якості інфраструктури в системі локального позиціонування для управління транспортними засобами на гірничому підприємстві використовується мережа NanoLOC. В основу технології NanoLOC покладений метод вимірювання дистанцій SDS-TWR, який розроблено компанією Nanotron Technologies.

5.2 Розробка та опис функціональних схем

Передача інформації через приймачі Nanotron відбувається зі швидкістю до 2 Мбіт за секунду, що є дуже великою швидкістю, особливо при досить високому рівні стійкості до завад. Це є основною відмінністю даних передавачів від інших пристроїв, що працюють в діапазоні 2,40-2,48 ГГц. Причому інформація може передаватися на відстань кількох сотень метрів.

У приймачах Nanotron використовується метод, який дозволяє значно розширювати спектр, а також за рахунок високої потужності переданого сигналу, який розмивається по всьому спектру дії, ще більше збільшувати показники

завадостійкості. Це досягається за рахунок того, що "розмивання" по спектру призводить до втрат тільки частини сигналу, який передається, що дозволяє згодом відновити в приймачу передані дані. Такий метод називається лінійно-частотною модуляцією.

Імпульси лінійно-частотної модуляції в приймачах Nanotron використовуються з метою передачі двійкових даних, їх тривалість фіксована, а несуча частота може бути як наростаючою, так і спадаючою. Ширина частотного каналу, яка використовується в таких приймачах, набагато більше, ніж та, яка використовується в технологіях ZigBee і Bluetooth і становить 80 МГц. Саме цей факт дає можливість роботи на високих швидкостях і з підвищеною надійністю передачі даних, навіть якщо рівень перешкод перевищує стандартні значення. Якщо порівнювати з бездротовою передачею даних за технологією Wi-Fi, в якій ширина частотного каналу також має значні показники, то технологія Nanotron також має свої переваги, в даному випадку в плані швидкості, дальності передачі, а також кількості споживаної енергії. Справа в тому, що обробка імпульсів лінійно-частотної модуляції на первинному рівні відбувається в аналоговий спосіб, що дозволяє використання приймачів в пристроях, які працюють від батарей.

ЛЧМ-сигнал, який передається, і процес обробки сигналу, який приймається, відбуваються при використанні дисперсійних ліній затримки. Вона виконується на базі фільтрів на поверхневих акустичних хвилях. При цьому ширина спектральної смуги становить 22 МГц. Частотні канали FDMA використовуються в кількості трьох каналів, що не перекриваються, або в кількості семи каналів, що перекриваються. Такі параметри дають можливість одночасного використання декількох бездротових мереж локального призначення в одному приміщенні.

Приймачі NanoLOC TRX дозволяють створювати мережі різного типу, з різним доступом (прямим і випадковим) до діапазону передачі. Реалізація прямого доступу відбувається за схемою TDMA або FDMA, можлива також схема «майстер-ведений». Реалізація випадкового доступу відбувається з використанням методу CSMA/CA. Організація мережі може бути як з однієї, так і з декількома підмережами, які дозволяють розширювати радіус дії мережі.

Ще однією особливістю даного приймача є досить низьке енергоспоживання, яке було досягнуто за рахунок того, що первинна обробка лінійно-частотного імпульсу виконується в аналоговий спосіб. Це дозволяє використовувати його в переносних пристроях з батарейним живленням. Струм споживання приймача в режимі передачі становить 78 мА, в режимі прийому 35 мА і 1,5 мкА – в «сплячому» режимі (hibernate). [15-17]

Функціональні електричні схеми базової станції і мітки транспортного засобу представлено на рисунках 5.4, 5.5.

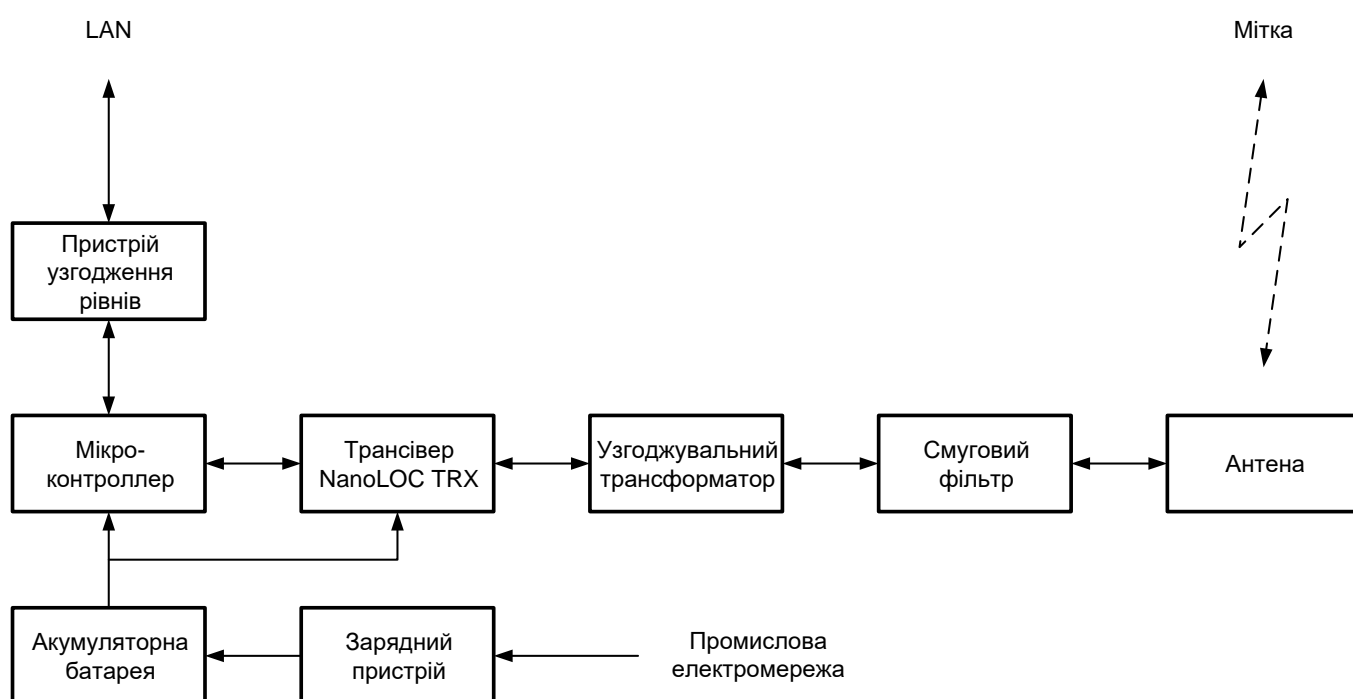


Рисунок 5.4 – Функціональна електрична схема базової станції

Узгоджувальний трансформатор дозволяє забезпечити максимальну передачу вихідної потужності приймача антени шляхом узгодження вихідного опору приймача і вхідного опору антени. Смуговий фільтр пропускає сигнали в певному діапазоні частот, і послаблює сигнали частот за межами цієї смуги. Напруга живлення NanoLOC TRX може змінюватися в межах від 2,4 до 3,6 В.

Крім аналогової частини, приймач NanoLOC TRX має цифрові вузли: годинник реального часу, MAC-контролер, SPI, дисперсійну лінію затримки (DDDL). Годинник реального часу дозволяє виводити приймач з «сплячого» режиму

в задані моменти часу. MAC-контролер реалізує два способи доступу до середовища: CSMA/CA (множинний доступ з контролем несучої і запобіганням колізій) і TDMA (множинний доступ з тимчасовим поділом каналів). Вузол SPI здійснює зв'язок приймача з контролером.

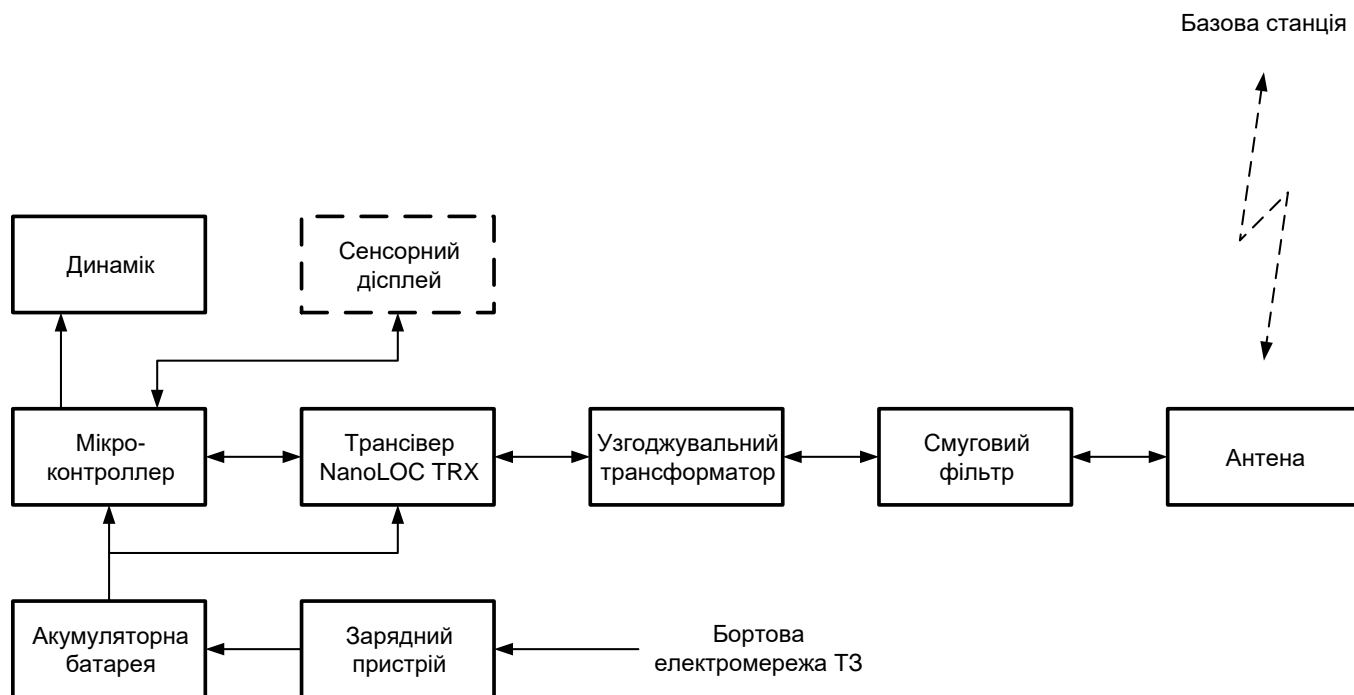


Рисунок 5.5 – Функціональна електрична схема мітки

Таблиця 5.1 – Основні технічні характеристики трансівверів NanoLOC TRX

Найменування параметру	Значення
Частотний діапазон	2,40-2,48 ГГц; не ліцензований
Стандарт радіозв'язку	IEEE 802.15.4a
Смуга частот	80 МГц, 22 МГц
Метод кодування сигналу	Лінійно-частотна модуляція (CSS)
Бітова швидкість передачі даних	2 Мбіт/с
Точність вимірювання відстаней	До 1 метра
Метод вимірювання відстаней	SDS-TWR, TOF, TDoA
Напруга живлення	2,3 ... 3,6 В
Струм споживання приймача	33 мА

Струм споживання передавача	30 мА
Методи доступу до середовища	CSMA, CSMA/CA, TDMA, FDMA
Температурний діапазон	- 40 °C ... + 85 °C

5.3 Технологія вимірювання відстані SDS-TWR

Метод SDS-TWR (симетричного двостороннього двонаправленого вимірювання відстані) дозволяє забезпечити необхідну точність, не вдаючись до дорогої синхронізації.

Метод регламентується стандартами ISO/IEC 24730-5 і IEEE 802.15.4-2011.

В системах позиціонування в реальному часі відстань вимірюється між міткою і базовою станцією – двома бездротовими пристроями, що не синхронізовані між собою. Вимірювання здійснюється в процесі обміну пакетами: «запит-відповідь». Безпосередній процес вимірювання методом SDS-TWR складається з двох симетричних зустрічно спрямованих (дзеркальних) циклів.

Послідовність обміну пакетами при вимірюванні показана на рисунку 5.6.

У першому циклі мітка направляє до БС пакет-запит. БС, отримавши запит, обробляє його і відправляє мітці пакет-підтвердження. При цьому БС відправляє підтвердження з затримкою $T_{\text{відгуку Б}}$. Мітка, отримавши підтвердження, визначає час циклу вимірювання $T_{\text{циклу М}}$. Це час дорівнює подвоєному часу поширення сигналу $T_{\text{ПС}}$ плюс $T_{\text{відгуку Б}}$. На цьому перший цикл вимірювання завершується.

Другий цикл вимірювання починається з того, що вже БС, почекавши після відправки підтвердження час, необхідний для завершення першого циклу $T_{\text{затримки}}$, направляє мітці пакет-запит, включивши в нього в якості корисного навантаження значення $T_{\text{відгуку Б}}$. Мітка, отримавши запит, так само, як БС в першому циклі, обробляє запит і повертає підтвердження БС, запам'ятовуючи $T_{\text{відгуку М}}$. БС, отримавши підтвердження від мітки, визначає значення $T_{\text{циклу А}}$ і відправляє це значення мітці з наступним запитом. [18]

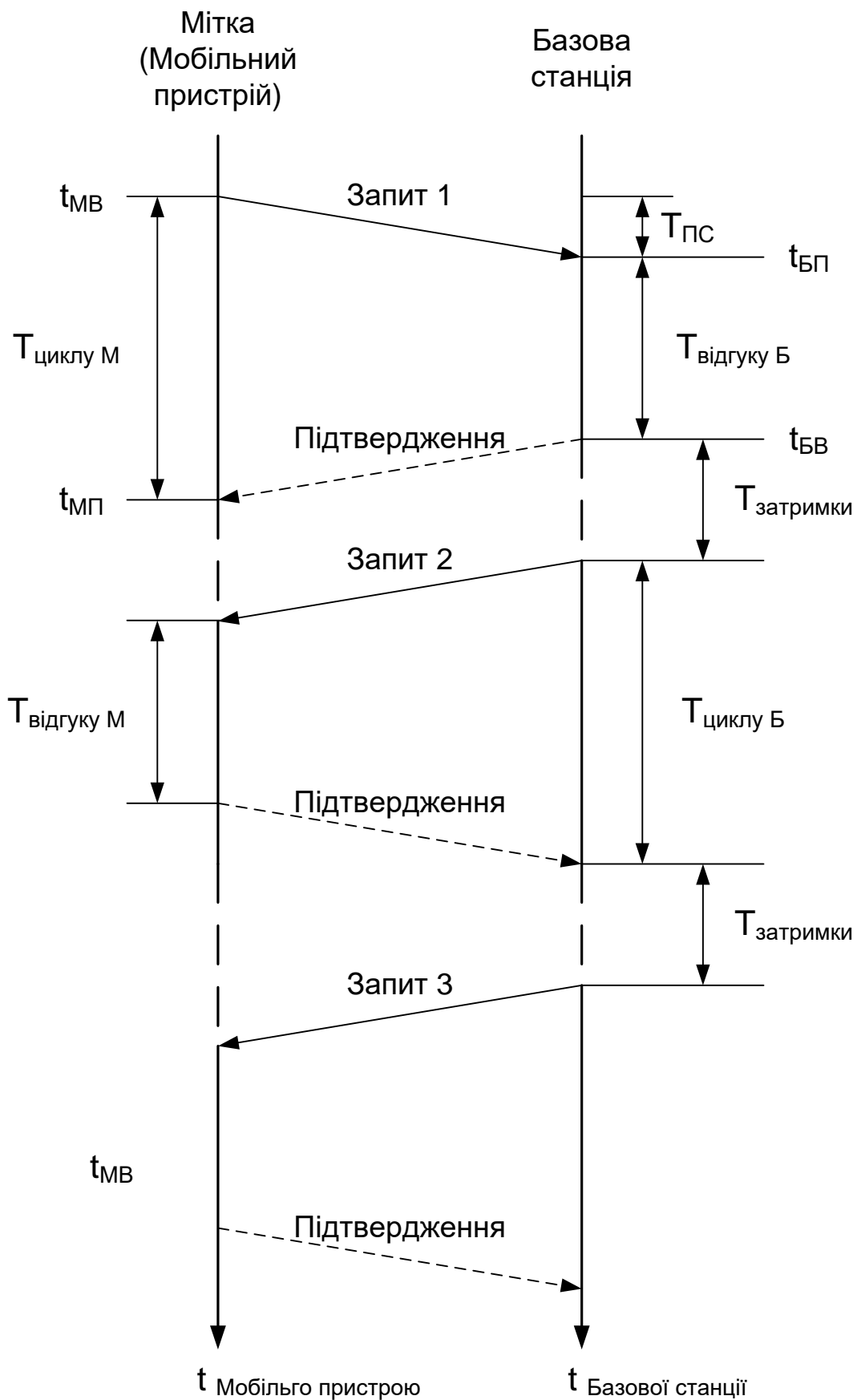


Рисунок 5.6 – Обмін пакетами у процесі виміру відстані методом SDS-TWR

В результаті мітка отримує всю необхідну для визначення часу поширення сигналу інформацію, яку згодом передає на сервер для обробки. З діаграми на рисунку 5.6 видно, що:

$$T_{\text{ПС}} = \frac{T_{\text{циклу М}} + T_{\text{циклу Б}} - T_{\text{відгуку Б}} - T_{\text{відгуку М}}}{4} \quad (5.1)$$

З урахуванням похибок опорних генераторів, вимірний час поширення сигналу складе:

$$\hat{T}_{\text{ПС}} = \frac{(T_{\text{циклу М}} - T_{\text{відгуку М}}) \times (1 + e_{\text{М}})}{4} + \frac{(T_{\text{циклу Б}} - T_{\text{відгуку Б}}) \times (1 + e_{\text{Б}})}{4} \quad (5.2)$$

Якщо прийняти:

$$T_{\text{відгуку М}} = T_{\text{відгуку}}, \quad (5.3)$$

$$T_{\text{відгуку М}} = T_{\text{відгуку}} + \Delta_{\text{відгуку}}. \quad (5.4)$$

а модуль максимальної похибки $e_{\text{М}}$ і $e_{\text{Б}}$ позначити e_{max} , то після перетворень отримаємо вираз для модуля похибки:

$$|\hat{T}_{\text{ПС}} - T_{\text{ПС}}| = \frac{1}{2} \times |\Delta_{\text{відгуку}}| \times e_{\text{max}}. \quad (5.5)$$

Оскільки $\Delta_{\text{відгуку}}$ при дотриманні вимог стандарту ISO24730-5 не перевищує однієї мікросекунди, очевидно, що похибка вимірювання часу поширення сигналу, пов'язана з відсутністю синхронізації, в разі використання методу SDS-TWR нехтовно мала. Типові значення похибки вимірювання, в залежності від реальних значень e_{max} наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Типові значення похибки вимірювання

$\Delta_{\text{відгуку}}$	e_{max}			
	2 ppm	20 ppm	40 ppm	80 ppm*
1 мкс	1 пс	10 пс	20 пс	40 пс

Примітка – відповідно до ISO 24730-5 похибка опорного генератора RTLS пристрою не повинна перевищувати 80 ppm (часток на мільйон).

З таблиці видно, що навіть при максимально допустимій похибці опорної частоти похибка вимірювання не перевищує 40 пикосекунд. За цей час радіосигнал поширюється на 12 мм.

5.4 Технологія завадостійкого двостороннього зв'язку

CSS – технологія, яка використовує chirp-імпульси. Chirp-імпульси – це імпульси, частота яких монотонно безперервно збільшується або зменшується. Нижня і верхня частоти chirp-імпульсів відповідають нижній і верхній межі виділеного частотного діапазону.

Для застосування в радіолокації chirp-імпульси були вперше запатентовані в 1940 році професором Гуттманом і надалі розвинені Сідні Дарлінгтоном в 1947 році. В середині 1990-х фірма Canon запатентувала chirp-імпульси для передачі даних в волоконно-оптичних системах. Починаючи з 1996 року, компанія Nanotron Technologies досліджувала і запатентувала CSS для комерційної бездротової передачі даних.

CSS є радіочастотної технологією, найбільш підходящою для додатків з автономним електроживленням (battery-powered), де особливе значення мають надійність передачі і низьке споживання енергії. CSS використовується в додатках із середньою швидкістю передачі даних.

Ключові особливості CSS технології:

- стійкість до перешкод;

- стійкість до багатопроменевого загасання;
- низьке споживання енергії;
- простота реалізації в кремнії.

Будь-яке повідомлення CSS складається з chirp-імпульсів, частота яких наростає (Upchirp) і зменшується (Downchirp), як показано на рисунках 5.7 і 5.8, де T_0 – тривалість імпульсу:

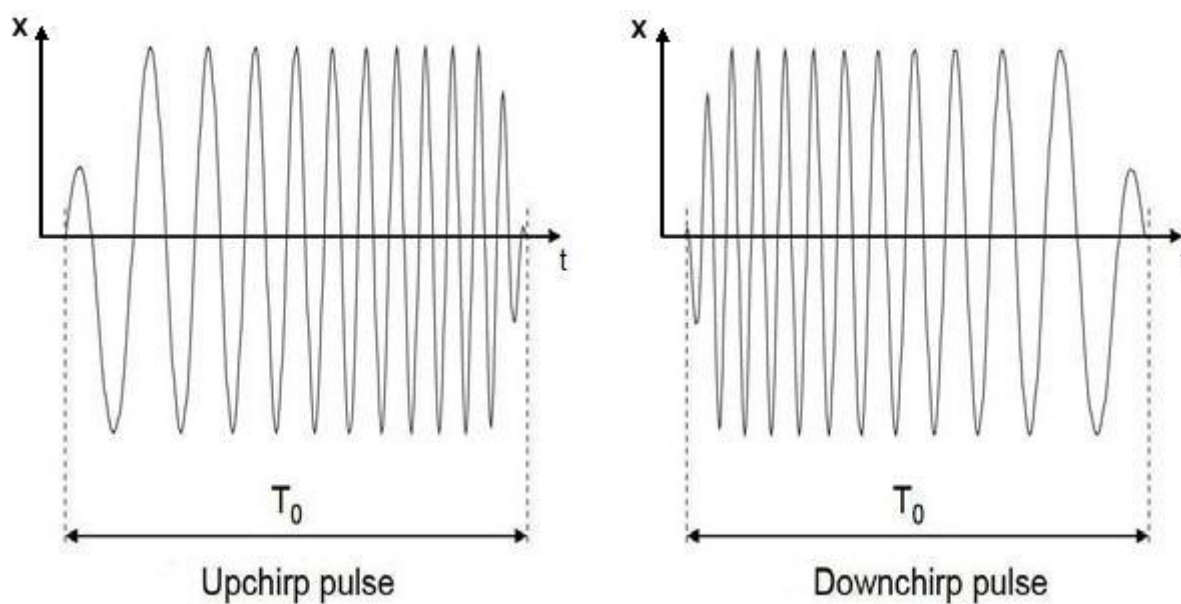


Рисунок 5.7 – Chirp-імпульси

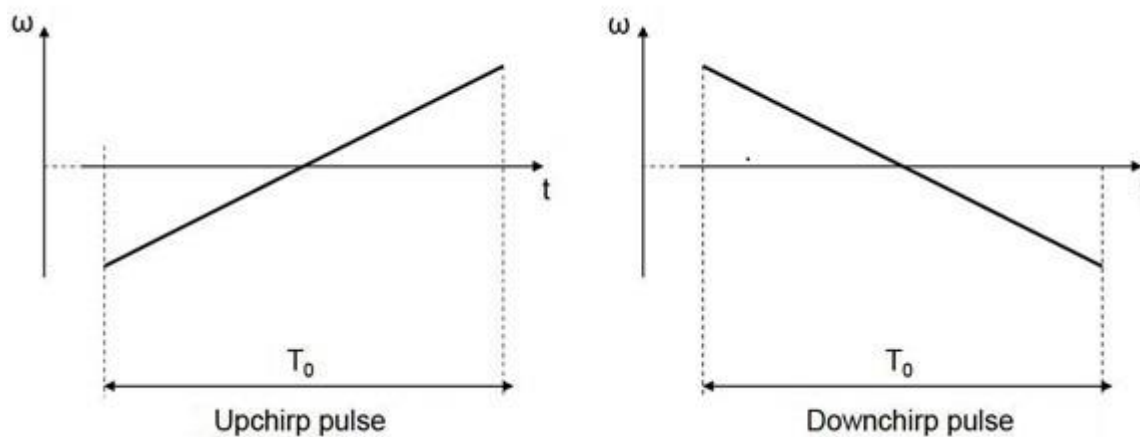


Рисунок 5.8 – Зміна частоти chirp-імпульсів у часі

CSS працює на центральній частоті 2,4 ГГц з шириною смуги 80 МГц і забезпечує максимальну швидкість передачі даних 2 Мбіт/с. Chirp-імпульс має фіксовану тривалість $T = 1$ мкс.

Chirp-імпульси використовуються в технології CSS для передачі кодової інформації. Символ «1» передається Upchirp імпульсом, символ «0» – Downchirp імпульсом. Декодування здійснюється за допомогою двох комплементарних дисперсійних ліній затримки (ДЛЗ). Сигнали різної частоти проходять через ДЛЗ з різною швидкістю. Параметри ДЛЗ для Upchirp імпульсів підбираються так, щоб високі частоти проходили через лінію затримки швидше, а параметри другої ДЛЗ, для Downchirp імпульсів, навпаки налаштовуються на швидше проходження низьких частот. В результаті при проходженні через ДЛЗ вся рівномірно розподілена протягом chirp-імпульсу енергія зосереджується в короткому проміжку часу і амплітуда короткого імпульсу на виході ДЛЗ багаторазово перевершує амплітуду вхідного chirp-сигналу. На входи обох ліній подається вхідна послідовність імпульсів. На виході першої ДЛЗ з'являються короткі імпульси, відповідні символу «1», на виході другої – відповідні символу «0», як це показано на рисунку 5.9.

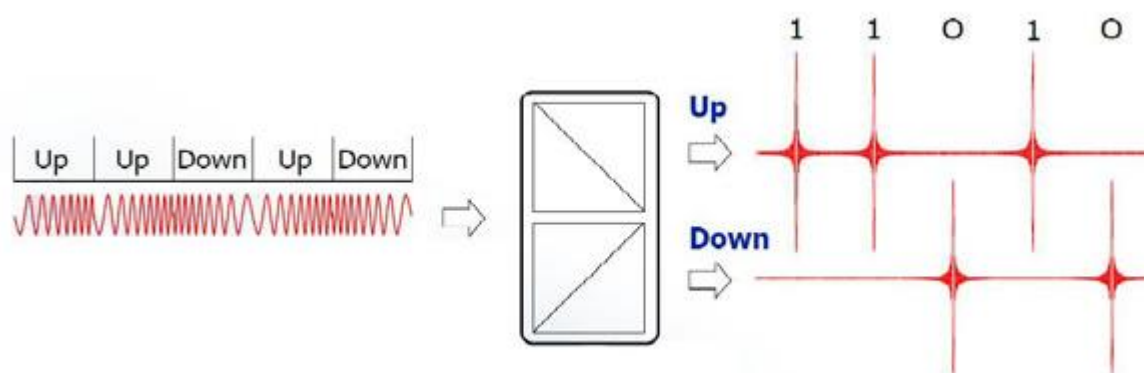


Рисунок 5.9 – Декодування послідовності chirp-імпульсів

Здійснюючи функцію декодування, ДЛЗ одночасно підвищують стійкість до вузькосмугових перешкод і широкосмугового шуму. Справа в тому, що на відміну від chirp-імпульсів, перешкоди (шум) мають незмінний в часі частотний спектр і при проходженні через ДЛЗ не змінюють своєї амплітуди. В результаті chirp-імпульси

легко виділяються навіть у випадках, коли їх вихідна амплітуда трохи нижче шуму або перешкоди.

З цієї причини CSS добре підходить для так званих «ISM частотних діапазонів», де радіовипромінювання від інших послуг зв'язку, мікрохвильових печей та іншого СВЧ обладнання створюють потужні перешкоди.

Ще одна значна перевага CSS – його стійкість до багатопроменевого загасання. Вихідний сигнал передавача часто досягає приймача, супроводжуваний кількома ехо-сигналами – відображеннями від перешкод за рахунок багатопроменевого поширення або навіть у вигляді тільки ехо-сигналів в разі відсутності прямої видимості. Досягаючи приймача шляхами різної довжини, відображення виявляються зсунутими по фазі щодо вихідного сигналу. Крім того, одні частоти відбитих сигналів виявляються посиленими, інші ослабленими, в залежності від умов. У разі вузькосмугових систем передачі наявність відображень порушує зв'язок. CSS відрізняється тим, що посилені і ослаблені в результаті багатопроменевого поширення сигнали різних частот в результуючому сигналі знаходяться у відносній рівновазі, що дозволяє знову зібрати на ДЛЗ практично всю енергію, яка була розподілена в 80 МГц смузі вихідного сигналу. [18]

5.5 Програмне забезпечення

Для створення мережевих додатків на базі приймача nanoLOC TRX компанія Nanotron пропонує, в залежності від складності бездротового з'єднання, використовувати один з двох пакетів програмного забезпечення: Driver Software або Portable Protocol Stack. Обидва пакети надаються в початкових кодах на мові С. Пакет Driver Software забезпечує управління режимами роботи приймача і містить функції для прийому і передачі повідомлень. Пакет PPS дозволяє реалізувати складні мережеві топології.

Portable Protocol Stack (PPS) – ключовий елемент бездротових мереж nanoNET, він призначений для створення мережевих додатків для пристроїв на базі приймачів

nanoNET TRX, nanoLOC TRX. Основною особливістю пакета PPS є можливість його перенесення на будь-яку мікропроцесорну платформу (від 8-розрядних мікроконтролерів до 32-розрядних), а також здатність працювати як під управлінням операційної системи, так і без неї. Є можливість конфігурувати PPS (підключати/відключати окремі рівні стека протоколів відповідно до вимог додатка) за допомогою допоміжних скриптів. Звернення додатка до PPS здійснюється за допомогою API-функцій високого рівня, що спрощує структуру програми та полегшує процес розробки програми.

Розроблена функціональна схема програмного забезпечення PPS представлена на рисунку 5.10. Корисною особливістю архітектури PPS є те, що всі рівні стека взаємодіють один з одним за допомогою універсального інтерфейсу ULI (Universal Layer Interface). Така взаємодія дозволяє безболісно виключати непотрібні і додавати необхідні рівні стека для забезпечення максимальної відповідності програмного коду поставленому завданню.

Коротко розглянемо функції кожного рівня PPS.

Верхній рівень – рівень додатків (Application Layer). Він відповідає за ініціалізацію стека протоколів, конфігурація приймача, а також за прийом і передачу пакетів всередині бездротової мережі.

Під рівнем додатків розташовується рівень інтерфейсу додатку – Application Interface Layer (AIL). Він являє собою інтерфейс взаємодії PPS і програми, але не залежить від конфігурації PPS.

Рівень AIL дає можливість додатком використовувати служби, що надаються більш низькими рівнями, наприклад, такі як включення/вимикання необхідних рівнів стека протоколів, перегляд всіх переданих пакетів в мережі, конфігурація MAC-адреси і мережеві маски вузла, управління режимом роботи вузла (кінцевий вузол, шлюз), маршрутизація пакетів, фільтрація пакетів за адресою, конфігурація приймача.

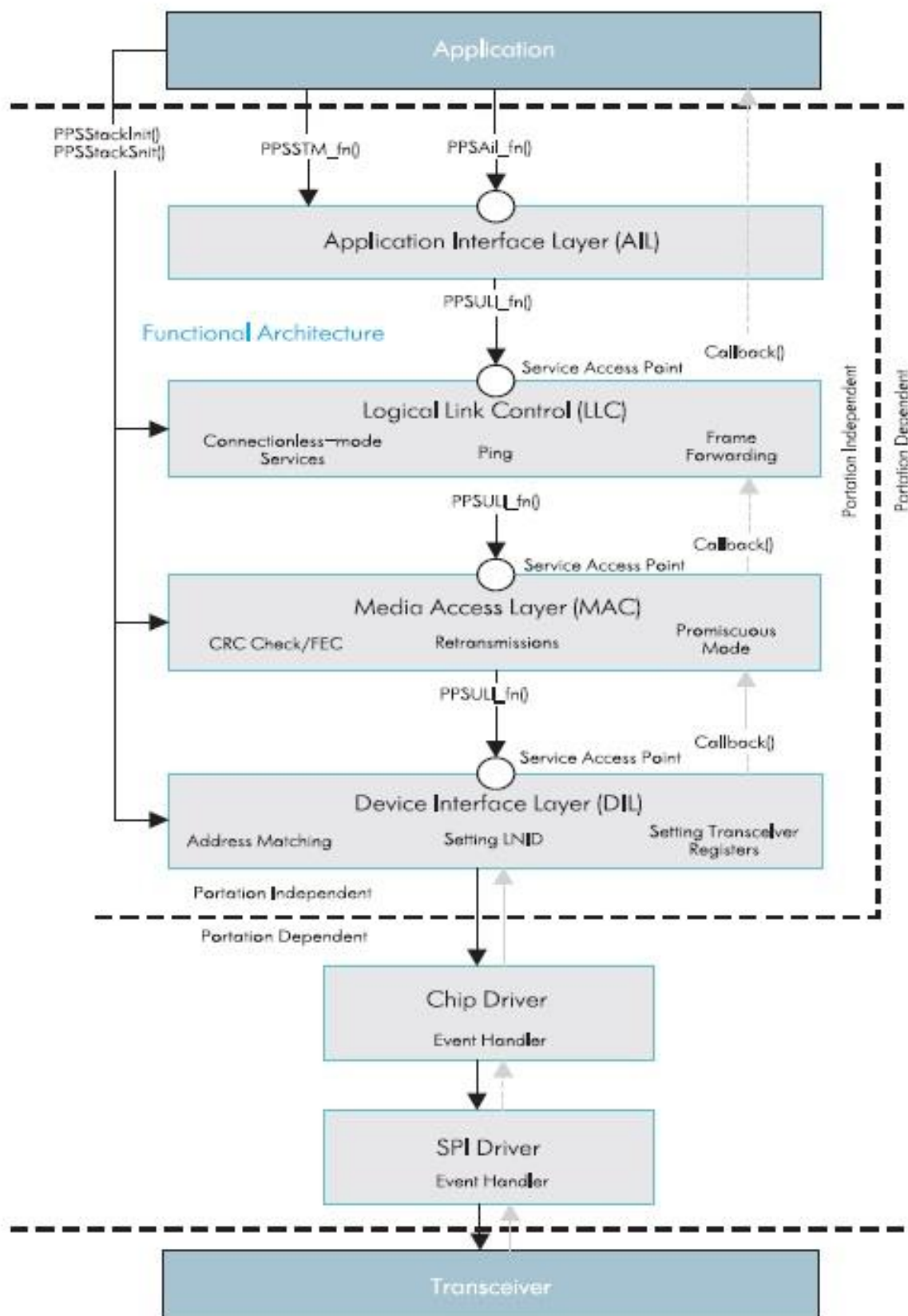


Рисунок 5.10 – Функціональна схема ПЗ PPS

Далі слідує рівень Logical Link Control (LLC). Даний рівень надає сервіси, в першу чергу призначені для встановлення з'єднання між вузлами мережі і управління ними. На рівні LLC діють наступні служби: посилка повідомлення без підтвердження доставки, посилка повідомлення з апаратним підтвердженням доставки, посилка повідомлення з програмним підтвердженням доставки, виявлення і видалення повітряних пакетів. LLC також може мати додатковий модуль Frame Forwarding Module. Він дозволяє або забороняє даному мережевому вузлу брати участь в ретрансляції пакетів. Крім того, рівень LLC дає можливість задіяти додаткову службу Ping Service, яка дозволяє визначити, чи знаходиться в даний момент певний вузол в мережі чи ні.

Рівень MAC, наступний за рівнем LLC, здійснює програмну підтримку функцій вбудованого MAC-контролера приймача. До них відносяться: підтримка двох способів доступу до середовища (TDMA або CSMA/CA), прийом і передача пакетів, контроль за допомогою циклічного надмірного коду (CRC), корекція помилок. Крім підтримки вбудованих функцій MAC-контролера приймача рівень MAC-пакета PPS надає наступні служби: включення/вимикання режиму перегляду всіх переданих пакетів в мережі, управління адресацією, прийом широкомовних повідомлень.

Device Interface Layer (DIL) – нижній рівень стека протоколів, він забезпечує обмін повідомленнями MAC-рівня між хост-контроллером і приймачем по SPI. Службами DIL-рівня є: запис/читання регістрів приймача, конфігурація приймача, управління пакетами, контроль помилок в прийнятих пакетах.

Фізичний рівень реалізований на приймачах nanoNET TRX, nanoLOC TRX. Саме приймач здійснює обмін даними по радіоканалу.

Для забезпечення працездатності стека протоколів на апаратну частину приймально-передавального вузла накладаються наступні мінімальні вимоги: наявність 8-розрядного мікроконтролера з об'ємом оперативної пам'яті не менше 2 кБайт і обсягом ПЗУ менше 16 кБайт.

5.6 Висновки

Розроблено структурну схему системи управління транспортними засобами на гірничому підприємстві. Для побудови інфраструктури системи локального позиціонування обрано мережеві рішення від компанії Nanotron Technologies NanoLOC.

Розроблено та описано функціональні схеми базової станції та мітки.

Описано технологію виміру відстані від мітки до базової станції та технологію передачі даних, що розроблено компанією Nanotron Technologies.

Окрім досить великої зони охоплення (900 м) при точності до 1 м, приймачі NanoLOC дають змогу побудувати тривимірну схему розташування мобільних пристроїв при розміщенні від чотирьох базових станцій на різних висотах, що є значною перевагою при побудові систем позиціонування в кар'єрах.

Також компанія Nanotron Technologies подбала також про можливості створення додатків користувача, запропонувавши досить великий вибір готового ПЗ, яке надається у вигляді додатків типу демонстраційних, а також драйверів. Запропоноване програмне забезпечення з відкритими початковими кодами, написано на мові С.

6 ПІДХОДИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ТА ЇХ ТОЧНІСТЬ

Основним джерелом похибки в системах визначення місця розташування є непрямолінійне поширення сигналу (NLoS, Non Line of Sight) [19]. Дана проблема призводить до завищення в вимірах і неправильного розрахунку місця розташування. Факторами, що призводять до завищення вимірюваних значень, можуть бути перешкоди, що пов'язані з геометрією приміщення, і екранування радіовипромінювання.

6.1. Вплив геометричного фактору на точність

В технології NanoLOC теоретичну площу місцезнаходження мобільного пристрою позначено зафарбованою площею перетину кіл з центрами відповідних базових станцій і радіусами, що дорівнюють виміряним відстаням від базових станцій до мобільного пристрою, то місце розташування зручно описувати за допомогою area-based підходу. [19]. Ця площа можливого знаходження мобільного пристрою має стовідсоткову ймовірність знаходження в ній мобільного пристрою, за умови, що всі вимірювання від базових станцій виконані без помилок.

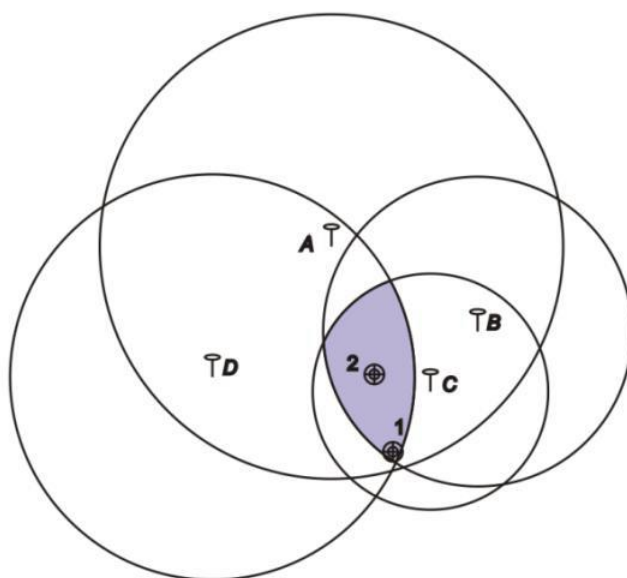


Рисунок 6.1 – Область розташування об'єкта

Можливе місцезнаходження мобільного пристрою всередині вірогідної площі місцезнаходження обчислюється методом триангуляції, точку 2 на рисунку 6.1. Для будь-якої базової станції ймовірність знаходження мобільного пристрою в точці розташованій усередині окружності відповідної виміру дистанції до цієї базової станції тим більше, чим ближче точка до центру кола. Інший спосіб розрахунку point-based локації всередині вірогідної області місцезнаходження заснований на більш складній моделі, видаючи в якості результату, наприклад, точку 1, див. рисунок 6.1.

Оцінку точності визначення координат місцезнаходження можна визначити по-різному.

Завищені вимірювання між мобільним пристроєм і базовою станцією впливають на кінцеву похибку визначення місцезнаходження мобільного пристрою. Автори статті відзначають, що збільшення кількості базових станцій при вимірах знижує ймовірність помилки розрахунку координат мобільного пристрою.

У разі розташування базових станцій з одного боку мобільного пристрою точність розрахунку зменшується, що обумовлено геометричним фактором, в іноземній літературі відомим як Geometric Dilution of Precision (GDoP).

При розміщенні системи необхідно враховувати геометричний фактор і при можливості розраховувати місце розташування об'єкта на основі даних від таких базових станцій, які призводять до найменших значень геометричного фактора, рисунок 6.2.

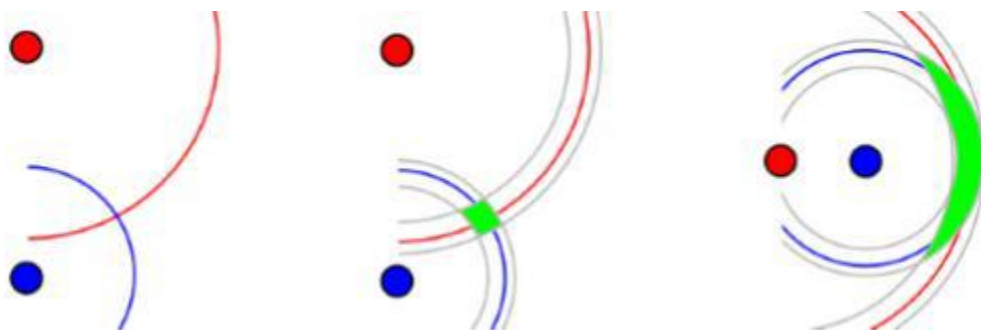


Рисунок 6.2 – Вплив геометричного фактору

6.2. Вплив завищених вимірювань на оцінку точності визначення місцеположення

Розглянуто випадок, в якому місце розташування мобільного пристрою обчислюється за вимірюваннями від трьох базових станцій. В ідеальному випадку, при відсутності помилок вимірювань, всі три кола повинні перетинатися в одній точці, рисунок 6.3 а.

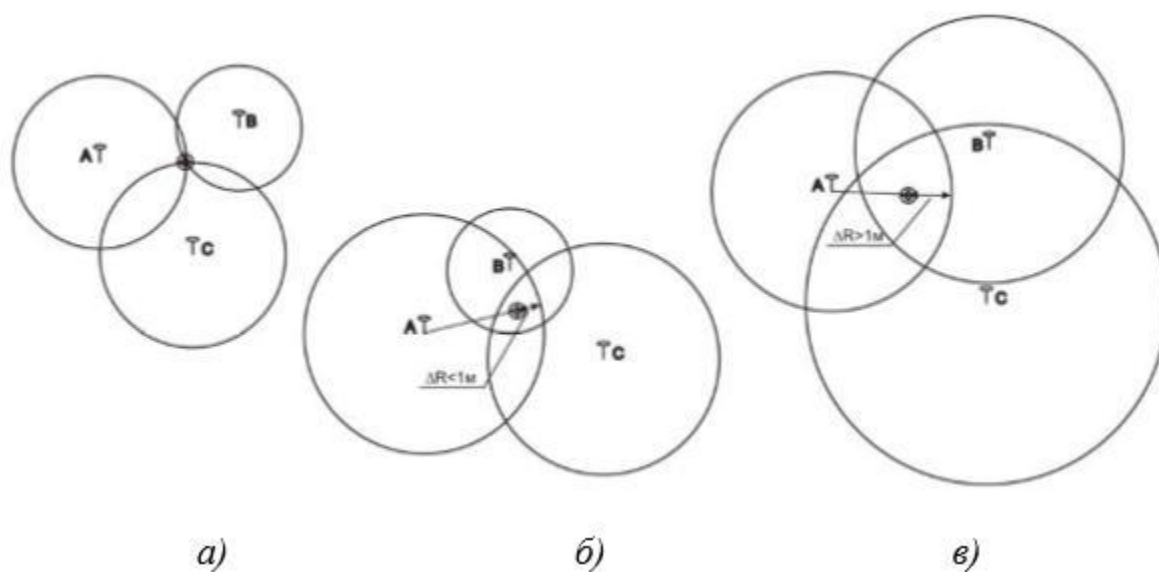


Рисунок 6.3 – Відмінності в відносному розмірі областей розташування

Точність розрахунку відстаней, оголошена виробником NanoLOC становить 1 метр. При коректному розташуванні базових станцій на місцевості виходить, що відстань від розрахованого розташування мобільного пристрою до кожної з околиць не повинно перевищувати одного метра, рисунок 6.3 б. Однак наявність помилок у вимірах, пов'язаних з відбиттям сигналів, може утворити деяку досить велику область, рисунок 6.3 в, тим самим підвищуючи похибку розрахунків.

6.3 Вплив занижених вимірювань на оцінку точності визначення місцеположення

На рисунку 6.4 видно, що коло, що відповідає заниженим вимірам, дає в результаті розрахунків неправильну зменшену область місцезнаходження мобільного пристрою.

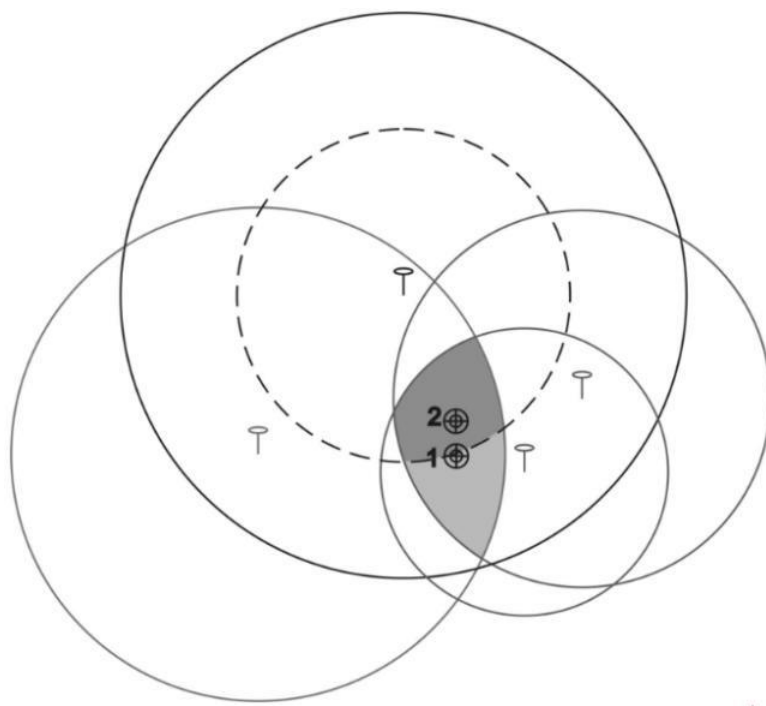


Рисунок 6.4 – Спотворення результатів розрахунку місця розташування через помилки у вимірі відстані

При подібних промахах в розрахунках відстаней від базової станції до мобільного пристрою в основному значення оцінки точності area-based локації буде менше дійсного, а сама область стовідсоткового знаходження мобільного пристрою виходить зсунутою. Цей зсув області можливого місцезнаходження мобільного пристрою, не дивлячись на те, що значення оцінки точності area-based-локації буде менше, може насправді збільшити дистанцію між дійсним станом мобільного пристрою і розрахованим на основі цієї площі – значення оцінки точності point-based локації буде більше, що відповідає більшій похибці.

6.4 Висновки

Виходячи з типових системних похибок, для системи локального позиціонування має велике значення врахування геометричних форм і розмірів приміщень та навколишніх об'єктів. Тому при впровадженні системи потрібно враховувати ці джерела похибок і розміщувати базові станції таким чином, щоб максимально зменшити вірогідність похибок.

Обрана технологія NanoLOC вже має розроблені і перевірені підходи визначення (обчислення) місцезнаходження мобільних пристроїв, такі як area-based та point-based підходи.

7 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

Всі експерименти проводилися в зеленій зоні на відстані близько одного кілометра від населеної частини міста. Знімок місцевості і її умовний креслення представлені на рисунку 7.1.

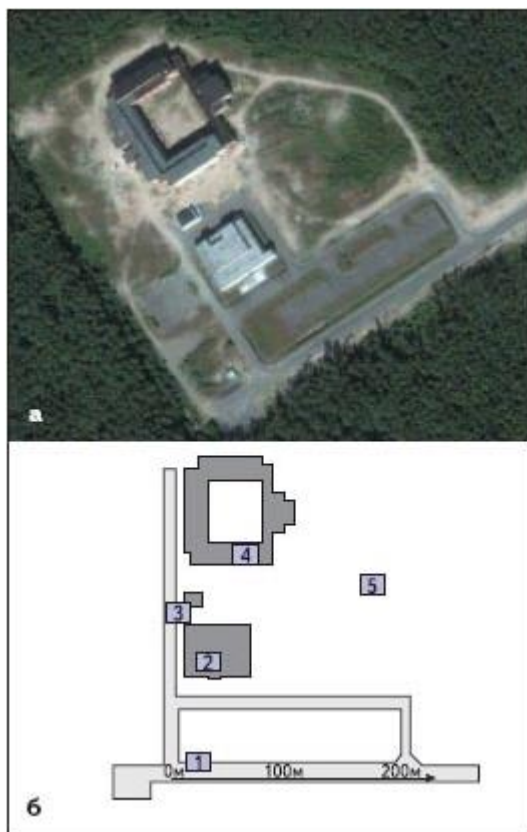


Рисунок 7.1 – Знімок місцевості (а) та її план (б)

Основна кількість експериментів, проводилося в точках 1, 4 і 5, позначених на умовному кресленні місцевості. Більшість експериментів відбувалася в денний час.

У всіх експериментах використовувалися радіомодулі, що склалися з трансівера nanoLOC і керуючого мікроконтролера ATmega644. [20]

7.1 Експеримент 1. Вимірювання на відкритій місцевості

Перший експеримент полягав у вимірі відстаней на відкритому просторі поблизу дорожнього покриття вздовж дороги з асфальтовим покриттям. Обидва

модулі були закріплені на жердинах на висоті 1,5 м від поверхні дороги в прямої видимості один одного.

Стаціонарний модуль (M – Master) був підключений до комп'ютера. Другий модуль (S – Slave) переносили уздовж дороги. На рисунку 7.2 можна бачити криві, отримані шляхом усереднення результатів по 10 вимірам.

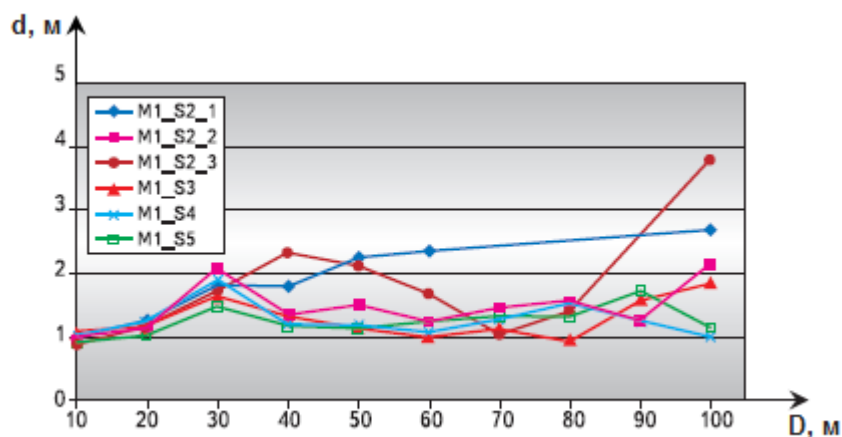


Рисунок 7.2 – Відхилення вимірених радіометодом відстаней від реальних

На горизонтальній осі відмічено реальна відстань в метрах, а на вертикальній – різниця між виміреним за допомогою nanoLOC і реальним (також в метрах): вимірювання відстаней завжди перевищує реальне внаслідок застосовуваної технології міток часу поширення пакета. Кожна точка вимірювання доповнена 90% довірчим інтервалом для середнього значення. Перші три кривих були отримані в різні дні для однієї і тієї ж пари модулів (M1, S2), на інших кривих модулі Slave змінювалися (S3, S4, S5).

На графіках видно, що існує систематична похибка при вимірюванні відстаней за допомогою nanoLOC, яка знаходиться в межах 1-4 м, і випадкова похибка кожного вимірювання, яка знаходиться в межах ± 80 см (90 довірчий інтервал) і практично не залежить від відстані і застосовуваних модулів.

Виявлено, що систематична похибка вимірювань залежить від положень антен, які трохи відрізнялися від точки до точки і від експерименту до експерименту, що вплинуло на криві, представлені на рисунку 7.2.

Результат усереднення значень по всіх 6 експериментах і 90% довірчий інтервал випадкової величини наведені на рисунку 7.3.

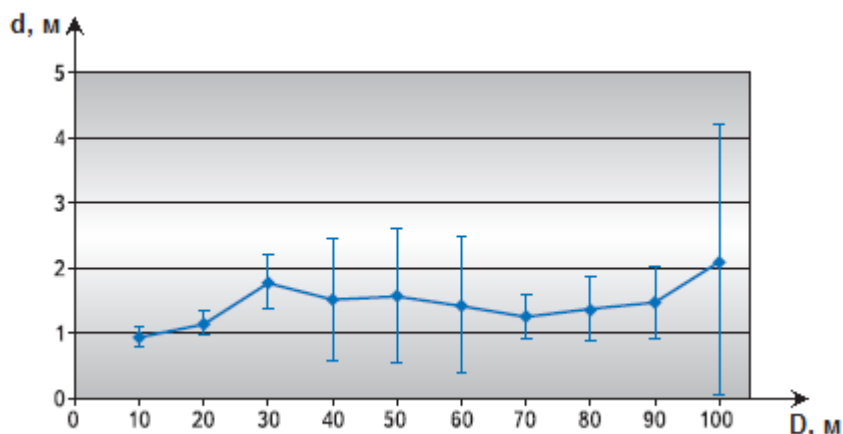


Рисунок 7.3 – Результат усереднення значень по всіх 6 експериментах

Внаслідок невеликого значення довжини хвилі для частотного діапазону 2,4 ГГц ($\lambda \approx 12,5$ см), принципи поширення електромагнітних хвиль в даному діапазоні тотожні законам поширення світлових хвиль; такі хвилі відбиваються і поглинаються перешкодами. Хоча радіозв'язок можливий при наявності невеликих перешкод, найкраща якість зв'язку забезпечується тільки в умовах прямої видимості. Найбільш вірогідне пояснення невеликого завищення результатів вимірювань полягає в додатковому «набігу» шляху поширення електромагнітних хвиль через відбиття від поверхні асфальтового покриття (землі).

7.2 Експеримент 2. Вивчення впливу відбиття

Для перевірки цієї гіпотези було поставлено експеримент з метою виключити фактори відбиття і з'ясувати точність вимірювання відстаней в цих умовах. Місцем проведення замірів був обраний стадіон з двома вежами, причому можливі перешкоди були досить віддалені від умовної прямої, що з'єднує модулі. У такій ситуації сигнал по прямій буде багато сильніше відбитих. Схема даного експерименту представлена на рисунку 7.4.

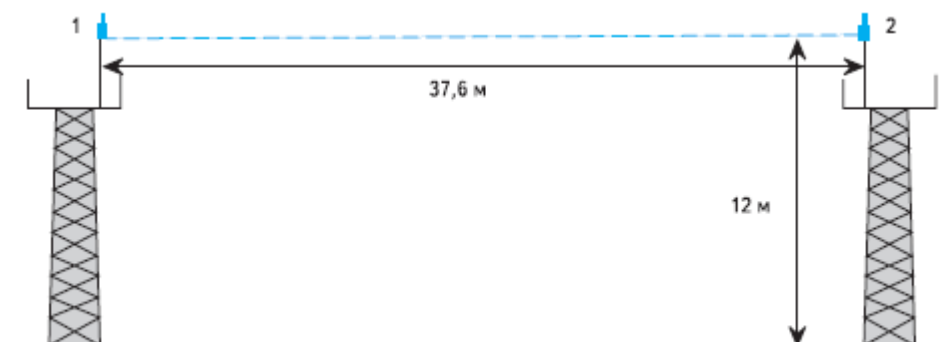


Рисунок 7.4 – Схема експерименту вимірювання відстані далеко від дорожнього покриття

В результаті було зареєстровано 93 значення відстані. Середнє значення:

$$D_{\text{cp}} = 38,42 \pm 0,05 \text{ м.}$$

95% довірчий інтервал випадкової величини – 0,44 м.

Різниця між відстанню, виміряним рулеткою, і середньою відстанню, зареєстрованою за допомогою nanoLOC модулів:

$$D_{\text{cp}} - D = 0,82 \text{ м.}$$

Аналіз експериментів по вимірюванню відстаней (без перешкод, на відстані близько 40 м) показав, що завищення поблизу дорожнього покриття (1,5 м) більше завищення, зареєстрованого далеко від дорожнього покриття (з вишок висотою 12 м), і дорівнює 0,82 м. Отже, логічним було б припустити, що значення в 0,82 м є систематична складова похибки для даних датчиків при даних умовах, однак потрібно врахувати, що вишки на висоті 12 м трохи хитаються щодо свого центрального положення (близько 5-10 см) і, відповідно, змінюється взаєморозташування датчиків.

7.3 Експеримент 3. Стабільність у часі

Основна ідея експерименту полягала в дослідженні стабільності вимірних значень на протязі великого проміжку часу. Крім цього, перевірялася точність вимірювань при відсутності зовнішніх перешкод і в умовах, коли датчики знаходяться нерухомо один щодо одного (в спокої).

Для експерименту по вимірюванню відстані протягом тривалого проміжку часу були обрані дві суміжні кімнати (місце 4 на рисунку 7.1). Всі прилади в даних кімнатах були відключені. Для реєстрації використовувалися ті ж два модуля Master і Slave, що і в попередньому експерименті.

Датчики знаходилися в різних кімнатах, їх відділяла лише гіпсокартонна стіна завтовшки 0,31 м з одним шаром мінеральної вати; ніяких інших перешкод між ними не було. Відстань від підлоги до датчиків становила 1,80 м. Схема експерименту з зазначеними відстанями приведена на рисунку 7.5.

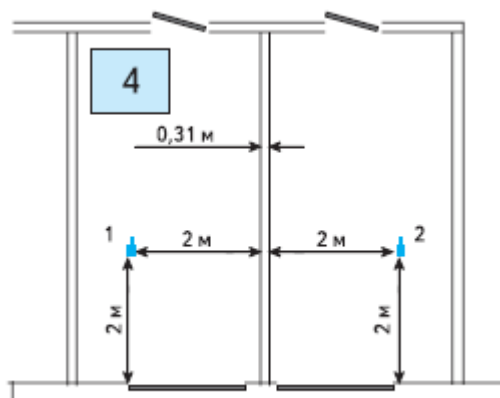


Рисунок 7.5 – Схема розташування датчиків для експерименту вимірювання відстані протягом тривалого часу

Експеримент тривав більше 18 годин, за цей час було проведено 64162 вимірювання.

Середнє значення — $4,423 \pm 0,002$ м (95% довірчий інтервал випадкової величини — 0,23 м). Відхилення середнього значення від реальної відстані, що виміряна рулеткою, — 0,11 м.

Дані були усереднені по 60 вимірам (тобто результати приблизно за 1 хвилину експерименту). На рисунку 7.6 наведено графік, на якому для зручності відображення наведені усереднені значення за кожні півгодини. При цьому 95% довірчий інтервал для середніх значень становить 0,04 м.

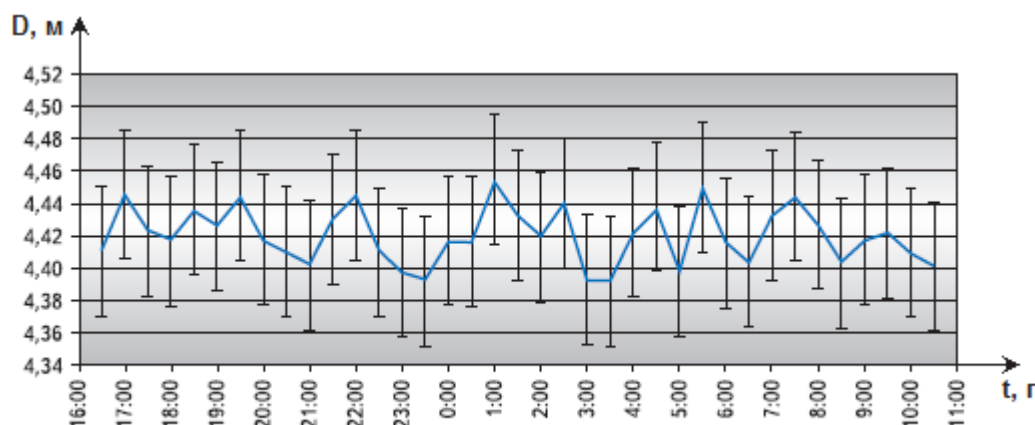


Рисунок 7.6 – Середнє по значимим даним

На рисунку 7.6 по горизонтальній осі вказано час запису результатів вимірювань, по вертикальній осі – усереднені відстані. Видно, що в межах довірчого інтервалу результати вимірів не змінюються з часом.

На рисунку 7.7 представлено розподіл даних, зареєстрованих в даному експерименті. На гістограмі по горизонтальній осі відкладені значення вибірки відстаней, по вертикальній – кількість випадін для кожної вибірки. Дослідження даного розподілу, побудованого з вибіркою 5 см, показало, що закон розподілу «нормальний». На гістограмі видно, що полу ширина нормальної кривої (на напіввисоті), що характеризує відхилення від середнього, становить близько 0,15 м.

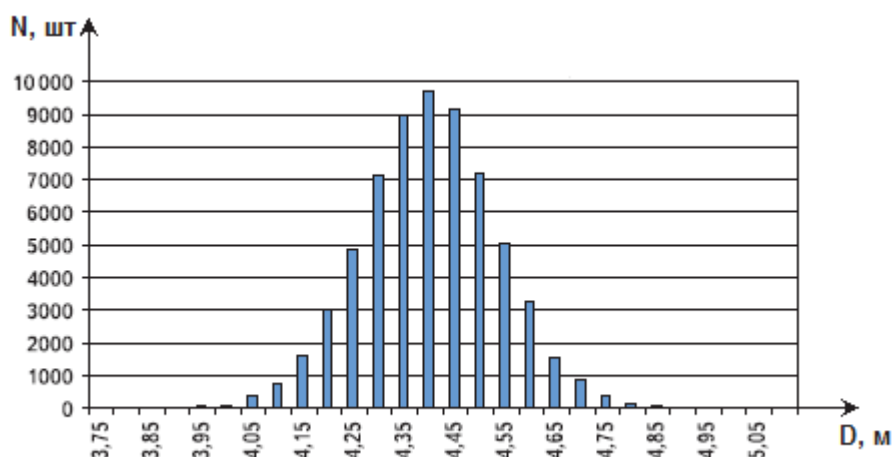


Рисунок 7.7 – Результати дослідження закону розподілу зареєстрованих даних

Експеримент по тривалим вимірам показав, що якщо усереднювати по 60 вимірам, то точність вимірювання відстані стаціонарними (нерухомими) датчиками при відсутності зовнішніх перешкод становитиме близько 0,04 м; при цьому потрібно врахувати ще і систематичну похибку 0,11 м, що додається даними модулями до реальної відстані, виміряної за допомогою рулетки і далекоміра. Потрібно також відзначити, що систематична похибка в цьому експерименті (0,11 м) менше, ніж в експерименті з використанням вишок (0,82 м).

7.4 Експеримент 4. Вплив взаємної орієнтації штирьових антен

Додатково були проведені експерименти по відстеженню впливу взаємної орієнтації антен на точність і якість вимірювання відстаней. Аналіз результатів експериментів говорить про наявність значного впливу взаємної орієнтації антен на вимірювання. При цьому з'являються завищені значення відстаней (до 5 м на відкритому просторі), які говорять про те, що електромагнітна хвиля проходила не по прямій між модулями.

Необхідно відзначити, що якщо гранична дальність зв'язку на відкритому просторі для однакової орієнтації антен склала 300 м (а зона стійкого зв'язку –

100 м), то при перпендикулярній орієнтації антен зв'язку на відстані 50 м практично вже немає.

7.5 Експеримент 5. Перевірка залежності точності вимірювань від використовуваної апаратури

Метод SDS-TWR, реалізований розробниками, передбачає отримання величини відстані шляхом усереднення результатів двох вимірювань, з боку ініціатора і з боку відповідача. У зв'язку з цим певний інтерес представляла перевірка наступних моментів.

По-перше, чи можливі умови, коли тільки одна зі сторін постійно завищує вимірювання? По-друге, чи є залежність від відстані в розкиді результату на стороні ініціатора і на стороні відповідача?

Для отримання відповіді був поставлений спеціальний експеримент, обробка результатів якого показала, що одна зі сторін стабільно завищує результати по відношенню до іншої. Найчастіше це завищення знаходилося в межах точності вимірювань, але іноді різниця становила понад півметра. За попередніми даними це можна пов'язати з різницею апаратних частин об'єктів. Перевірка другий гіпотези показала відсутність будь-якої залежності розкиду результатів вимірювань на різних сторонах від відстані.

Також цікаво було з'ясувати, чи є залежність точності вимірювання від конкретного екземпляра модуля NanoLOC. У зв'язку з цим були проведені відповідні експерименти, які показали невелику залежність зареєстрованої відстані від конкретного екземпляра датчика, яка може бути пов'язана, в тому числі, і з нечіткою витримкою взаємної орієнтації антен при переході від однієї точки до іншої в процесі експерименту.

7.6 Висновки

За результатами експериментів радіомодулі стандарту NanoLOC дозволяють досить точно вимірювати відстані. При цьому результати вимірів виходять трохи завищеними (по-різному в залежності від зовнішніх умов). Однак в ряді випадків це може бути скориговано шляхом попереднього калібрування системи або введенням спеціальних градуювальних кривих.

Найчастіше «набіг відстаней» пов'язаний з відбиттям від сусідніх об'єктів, існуванням перешкод на шляху між датчиками і різній взаємній орієнтації антен. Мінімальне завищення було досягнуто в експериментах з тривалим часом накопичення даних від нерухомих об'єктів і склало 0,11 м.

8 РОЗРАХУНКИ ДАЛЬНОСТІ ДІЇ СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Основна проблема, що збільшує похибку вимірювань, це затухання електромагнітної хвилі при відбитті від стін всередині приміщень. Як правило, вважається, що для отримання сигналу без перевідбиттів, потрібно щоб 60% зони Френеля була вільна від перешкод. [21] Насправді це важкодоступна умова. Перешкоди на шляху поширення сигналу приводять до значного зменшення потужності сигналу. Коефіцієнт ослаблення сигналу залежить від конкретного матеріалу з якого можуть бути виготовлені стіни будівлі.

Крім того перешкодами можуть служити також і рухомі об'єкти, то розподіл сигналу залежить не тільки від координат, а й від часу. Описані явища значно впливають на точність позиціонування в гіршу сторону.

Втрати на загасання сигналу всередині приміщення можуть розраховуються як різниця між середньою напруженістю поля поза стінами приміщення на даній висоті над рівнем землі і середньої напруженістю поля всередині цього ж приміщення на тій же висоті над рівнем землі.

При розрахунку напруженості поля всередині приміщення враховуються два фактори. Перший – втрати на затухання електромагнітної хвилі всередині приміщення, і другий – зміна втрат на загасання сигналу всередину приміщення через різні типи будівельних матеріалів. Далі наведені значення стандартної девіації, що враховують розподіл втрат на проникнення в будівлі, але не враховують зміну координат всередині приміщення.

8.1 Розрахунок дальності дії системи по лінії прямої видимості

Основні втрати при поширенні електромагнітної хвилі у вільному просторі визначаються виразом:

$$L = 92,44 + 20 \log(f) + 20 \log(d). \quad (8.1)$$

Частота роботи нашої системи:

$$F = 2,4 \text{ ГГц}.$$

Загальні втрати можна знайти, знаючи потужність випромінювання і мінімальну потужність прийому:

$$L = 10 \lg \left(\frac{P_B}{P_{\Pi}} \right). \quad (8.2)$$

Потужність випромінювання розрахуємо з характеристик системи:

$$P_B = 0,001 \text{ Вт.}$$

Мінімальну прийняту потужність можна розрахувати з характеристик системи:

$$P_{\Pi} = 1,9952623 \cdot 10^{-13} \text{ Вт.}$$

Звідки втрати становитимуть:

$$L = 97 \text{ дБ.}$$

Знаючи втрати, можна розрахувати дальність роботи системи:

$$20 \log(d) = -3,044225,$$

$$d = 0,704 \text{ км.}$$

8.2 Розрахунок зміни втрат і дальності дії системи в реальних умовах

Значення стандартної девіації залежать від частоти і зовнішніх умов. Типові значення для площі $500 \text{ м} \times 500 \text{ м}$ описуються наступним виразом:

$$\sigma_L = K + 1,3 \log(f). \quad (8.3)$$

Значення коефіцієнта для міських умов $K = 5,1$. Значення коефіцієнта для сільської місцевості $K = 4,4$.

Звідки значення девіації для міських умов:

$$\sigma_L = 5,59 \text{ дБ.}$$

Значення девіації для сільської місцевості:

$$\sigma_L = 4,89 \text{ дБ.}$$

Беремо девіацію частоти за максимальне значення, звідки можна обчислити дальність дії системи для міських умов:

$$20 \log(d) = -8,634225,$$

$$d = 0,37 \text{ км.}$$

Для сільської місцевості дальність дії системи буде вище:

$$20 \log(d) = -7,934225,$$

$$d = 0,401 \text{ км.}$$

8.3 Розрахунок дальності дії системи при обліку втрат на загасання сигналу всередині приміщення

Зміна напруженості електромагнітного поля всередині будівель відбувається в результаті загасання поля в приміщенні. Таким чином, стандартну девіацію для прийому всередині приміщень обчислюють як квадратний корінь з суми квадратів окремих значень стандартної девіації:

$$\sigma_i = ((\sigma_L)^2 + (\sigma_e)^2). \quad (8.4)$$

σ_L беремо з попереднього розділу $\sigma_L = 5,59$ дБ.

Значення σ_e беремо з таблиці $\sigma_e = 6$ дБ.

Звідки значення σ_i :

$$\sigma_i = 8,2 \text{ дБ.}$$

Середнє значення втрат на проникнення сигналу всередину будівель (таблиця 6,1). Втрати на поширення сигналу:

$$L_e = 11 \text{ дБ.}$$

Дальність дії системи з урахуванням девіації і середніх втрат на загасання сигналу всередині приміщення:

$$20 \log(d) = -22,244225,$$

$$d = 0,077 \text{ км.}$$

З формули видно, що дальність системи вкрай мала, і крім того потрібно врахувати втрати на поширення сигналу всередині будівель на частоті 2,4 ГГц (таблиця 8.1).

Таблиця 8.1 – Втрати на поширення сигналу

Тип	Матеріали	Втрати (дБ)
Низькі	Не тоноване скло, дерев'яні двері, штукатурка	2 ... 4
Середні	Цегляні стіни, мармур, дроти, тоноване скло	5 ... 9
Високі	Бетонні стіни, шпалери, куленепробивне скло	10 ... 15
Дуже високі	Метали, дзеркала	>15

З отриманих розрахунків випливає, що доцільно використовувати підсилювач на 25 дБ. При використанні такого підсилювача отримаємо, що максимальна дальність роботи системи в приміщенні:

$$d = 0,25 \text{ км}$$

Такий результат цілком відповідає поставленим вимогам до системи.

8.4 Висновки

Як видно з розрахунків, дальність дії системи залежить від розмірів та матеріалів зовнішніх перешкод. І чим щільніше розташовані перешкоди, тим менша можлива відстань вимірювання.

При впровадженні системи потрібно враховувати розміри, матеріали та розташування перешкод для забезпечення достатньої зони покриття, а де затухання сигналу велике – встановлювати підсилювачі.

9 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

9.1 Опис ідеї проекту

Таблиця 9.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення системи локального позиціонування для управління транспортними засобами на гірничих підприємствах	1. Управління транспортними засобами в шахтах	1. Облік ТЗ 2. Контроль пересування ТЗ 3. Планування маршрутних листів 4. Запобігання зіткнення ТЗ 5. Попередження про знаходження в небезпечній зоні
	2. Управління транспортними засобами в кар'єрах	1. Облік ТЗ. 2. Побудова тривимірної мапи кар'єру 3. Контроль маршрутів пересування ТЗ 4. Планування маршрутних листів

Таблиця 9.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/ п	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слаб ка сторо на)	N (нейтрал ьна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1 RealTrac	Конкуре нт2 ТОВ «РТЛС»			
1.	Технологія	NanoL ОС	BLE, Wi-Fi, UBW	ZigBee			Найбіл ьше підходи ть для даної галузі
2.	Зона охоплення	900 м	150 м	300 м			Більша зона покрит тя
3.	Точність	до 1 м	0,1-3 м	до 2 м		Достатня для даної галузі застосув ання	
4.	Швидкість передачі даних	Висо- ка	Висока	Низька		Як у основно- го конкурен та	
5.	Завадостій	Висо-	Можна вибрати	Висока		Як у	

	кість	ка	технологію в залежності від вимог			конкурентів	
6.	Рівень споживання енергії	Низький	Низький/Високий/Низький	Низький		Як у конкурентів	

9.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 9.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Позиціонування мобільних пристроїв (ТЗ)	GSM	+	-
2.		Wi-Fi	+	+
3.		BLE	+	+
4.		NanoLOC	+	+
5.		ZigBee	+	+
6.		UWB	+	-
7.		WiMax	+	-
8.		MiWi	+	+
9.		NFER	+	-
10.		DECT	+	+
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Побудова радіомережі для визначення позиції за допомогою приймачів NanoLOC. Ця технологія є доступною з точки зору апаратної і програмної реалізації і задовольняє вимогам з точності, завадостійкості				

9.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 9.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	20000000 грн
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає обмежень
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	65%

Таблиця 9.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Системи контролю та управління ТЗ на підприємствах	Представники гірничої, будівельної, логістичної, військової сфери	Основна ціль всіх груп клієнтів однакова – контроль місцезнаходження ТЗ	Система повинна бути автоматизованою, уніфікованою, недорогою, надійною

Таблиця 9.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Поява нових конкурентів на ринку	Зменшення долі на ринку	Збільшення витрат на рекламу, створення нових технологічних рішень
2.	Знецінення гривні	Зменшення попиту на ринку України	Вливання на іноземний ринок

Таблиця 9.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Попит на системи позиціонування в гірничій сфері, або в сферах з аналогічними потребами	Збільшення долі ринку, можливість розвитку нових систем	Збільшення обсягів виробництва
2.	Зменшення ціни на електричні компоненти та акумулятори	Зменшення собівартості продукту, що призведе до зростання попиту	Вихід на нові ринки збуту

Таблиця 9.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції – чиста	На ринку присутні	Зменшення собівартості,

	конкурентні компанії зі схожими технологіями	вдосконалення технологій, нові додаткові можливості
2. За рівнем конкурентної боротьби – глобальний	Вихід на зовнішні ринки, відсутність локальних конкурентів	Продаж продукції за мінімально можливою ціною
3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Конкуренція на ринку ведеться в гірничій, будівельній, логістичній галузях	Необхідно зосередити зусилля на пошуку конкурентних переваг, які дозволять компанії займати стійкі конкурентні позиції на даному ринку
4. Конкуренція за видами товарів – товарно-родова	Конкуренція на рівні технології задоволення потреб. Існує конкуренція з іншими компаніями	Ведення конкурентної боротьби в технологічній сфері
5. За характером конкурентних переваг – нецінова	Для значної частки споживачів визначальною при виборі є технічна перевага, або забезпечення технічних вимог	Ведення конкурентної боротьби в технологічній сфері
6. За інтенсивністю – марочна		Диференціація систем

Таблиця 9.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	RealTrac ТОВ «РТЛС»	Відсутні бар'єри входження в ринок	Цінові Значення розміру поставок – відсутні\цінові	Фактор вибору	Розширення функціоналу продукту конкурента
Висновки:	Інтенсивність конкурентоспроможності – висока	- є можливість входу в ринок; - наявно 2 головних конкуренти; - строки виходу на ринок: середньострокові	Постачальники не диктують умов	Споживач обирає необхідний йому технічні характеристики, можливість масштабування, Приваблива ціна	Обмеження для роботи на ринку через товари-замінники

Таблиця 9.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Ціновий	Ціна на продукт
2.	Продуктова диференціація	Наявність різновиду пристрою за функціоналом
3.	Динаміка галузі	Наявність попиту на продукт
4.	Продуктова лінія	Наявність видових різновидів пристрою

Таблиця 9.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «проекту»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з продуктом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ціновий	5							
2.	Продуктова диференціація	10							
3.	Динаміка галузі	15							
4.	Продуктова лінія	10							

Таблиця 9.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Нові технології Надійне обладнання Технічні характеристики продукту Функціональність Ресурси	Слабкі сторони: Відсутність досліджень з приводу аналізу нових каналів збуту
Можливості: Зростання ринку Підтримка зі сторони інвесторів Зарубіжний ринок	Загрози: Внутрішній ринок

Таблиця 9.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Використання засобів стимулювання збуту та мерчандайзингу для збільшення продаж	Отримання ресурсів від інвестицій	До 2-х років
2.	Розширення асортиментної лінійки за рахунок створення нових продуктів	Отримання ресурсів від інвестицій	До 3-х років
3.	Збільшення представленості на міжнародній арені	Отримання довгострокових кредитів	До 5 років

9.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 9.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Концентрований маркетинг	Вузькоспеціалізовані потреби	Орієнтований попит – великий	Конкуренція представлена 2-ма виробниками регіонального значення	Середня з майбутньою перспективою
Які цільові групи обрано: було обрано концентрований маркетинг – робота із спеціалізованими галузями, для яких потрібно вирішувати задачі позиціонування					

Таблиця 9.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Конкурентна стратегія	Посилити використання таких конкурентних переваг як унікальне позиціонування та рівень диференціації	Посилення тиску зі сторони товарів конкурентів	Стратегія спеціалізації
2.	Цінова стратегія	Даний метод дозволить регулювати ціни в залежності від витрат виробництва, а також забезпечити цільовий прибуток	1.Регулювання цін на логістичну діяльність з боку держави; 2.Дефіцит якісного людського персоналу; 3.Зростання цін на витратні матеріали; 4.Коливання попиту.	Стратегія лідерства по витратах
3.	Стратегія просування	Для збільшення обсягів реалізації, формування	1. Зростання числа клієнтів; 2. Залежність попиту від купівельної	Стратегія спеціалізації

		лояльності споживачів	спроможності споживачів Збільшення інтенсивності конкуренції між існуючими гравцями	
--	--	--------------------------	--	--

Таблиця 9.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
	Ні	Компанія буде шукати нових споживачів	Компанія не буде копіювати основні характеристики товару	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 9.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/ п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспромож ні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
	1. Точність 2. Зона охопту	Страте- гія	1. Велика зона охопту	1. Ціна 2. Надійність

	3. Масштабування 4. Прийнятна ціна	спеціалі зації	2. Точність 3. Завадостійкість 4. Доступність технології	3. Контроль
--	--	-------------------	---	-------------

9.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 9.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1.	Ціна	Дешевше, ніж у конкурентів	Дешевше, ніж у конкурентів
2.	Якість	Точність позиціонування, завадостійкість	Точність відповідає технічним вимогам галузі, технології передачі даних є стійкими до спотворення
3.	Дальність	Більше покриття	Більша зона охопту базової станції призводить до зменшення кількості базових станцій на відміну від конкурентів

Таблиця 9.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за здумом	Система управління транспортними засобами на гірничому підприємстві на основі систем локального позиціонування		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Базові станції	Нм	Тх
	2. Мітки	Нм	Тх
	3. Живлення (електроенергія)	М	Тл
	4. Автоматизована система	Нм	Тл

	Якість: тестування за державними і міжнародними стандартами
	Пакування: без пакування, розгортання та налаштування системи на об'єкті
	Марка: в процесі розробки
III. Товар із підкріпленням	До продажу: інформацію про товар можна дізнатися у менеджерів та технічних консультантів
	Після продажу: повністю готовий для роботи
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: товар буде захищено за рахунок інтелектуальної власності і новітніх розроблених систем (ноу-хау)	

Таблиця 9.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	Більше 500000 грн	Більше 500000 грн	Від 10 млн. грн до 50 млн. грн	Від 250000 до 500000

Таблиця 9.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	власна система збуту	Доставляти товар до клієнтів, проводити повне впровадження системи та тестування на	Вертикальна система	Багатоканальні системи збуту

Таблиця 9.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонуван- ня	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Власники підприємств або інвестори в галузі, що готові що впровадження новітніх технологій	Спеціалізовані форуми та виставки в галузі	Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар	Вплив на процес прийняття рішення про купівлю	Підкреслення переваг продукту

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розглянуто компанії та технології, які вони пропонують, для рішення завдань локального позиціонування. Проведено аналіз рішень іноземних компаній RealTrac Technologies та ТОВ "РТЛС" для гірничих підприємств;

2. Технології для визначення координат мобільних об'єктів nanoLOC (стандарт IEEE 802.15.4a). Єдиними стандартами з перерахованих, спочатку розробленими для вимірювання відстаней по радіоканалу, є стандарти IEEE 802.15.4a CSS (nanoLOC) і UWB. Таким чином, системи локального позиціонування, побудовані на базі цих стандартів, в рівних умовах (однакові виробничі площі, будівлі, перешкоджаючі обстановка) мають кращі характеристики, у порівнянні з рішеннями, що використовують інші стандарти;

3. Для визначення місця розташування мобільних пристроїв обрано систему з комбінацією методів;

4. Розроблено структурну схему системи управління транспортними засобами на гірничому підприємстві. Для побудови інфраструктури системи локального позиціонування обрано мережеві рішення від компанії Nanotron Technologies NanoLOC;

5. Обрано технологію виміру відстані від мітки до базової станції та технологію передачі даних, що розроблено компанією Nanotron Technologies;

6. Розглянуті типові системні похибки для визначення місцезнаходження розглянутої системою. Обрані методи визначення (обчислення) місцезнаходження мобільних пристроїв, з використанням підходів area-based та point-based для технології NanoLOC;

7. За результатами експериментальних вимірювань радіомодулі стандарту NanoLOC дозволяють досить точно визначити відстані. В ряді випадків похибки можуть бути скориговано шляхом попереднього калібрування системи або введенням спеціальних градуовальних кривих;

8. Розрахунками підтверджено відповідність максимальної дальності роботи системи за наявності різного характеру перешкод, поставленим вимогам до системи;

9. Розроблено стартап-проект, у якому досліджено конкурентоспроможність системи. Розглянуті особливості системи вагомі для потенційних клієнтів та визначені стратегії розвитку та поведінки на ринку;

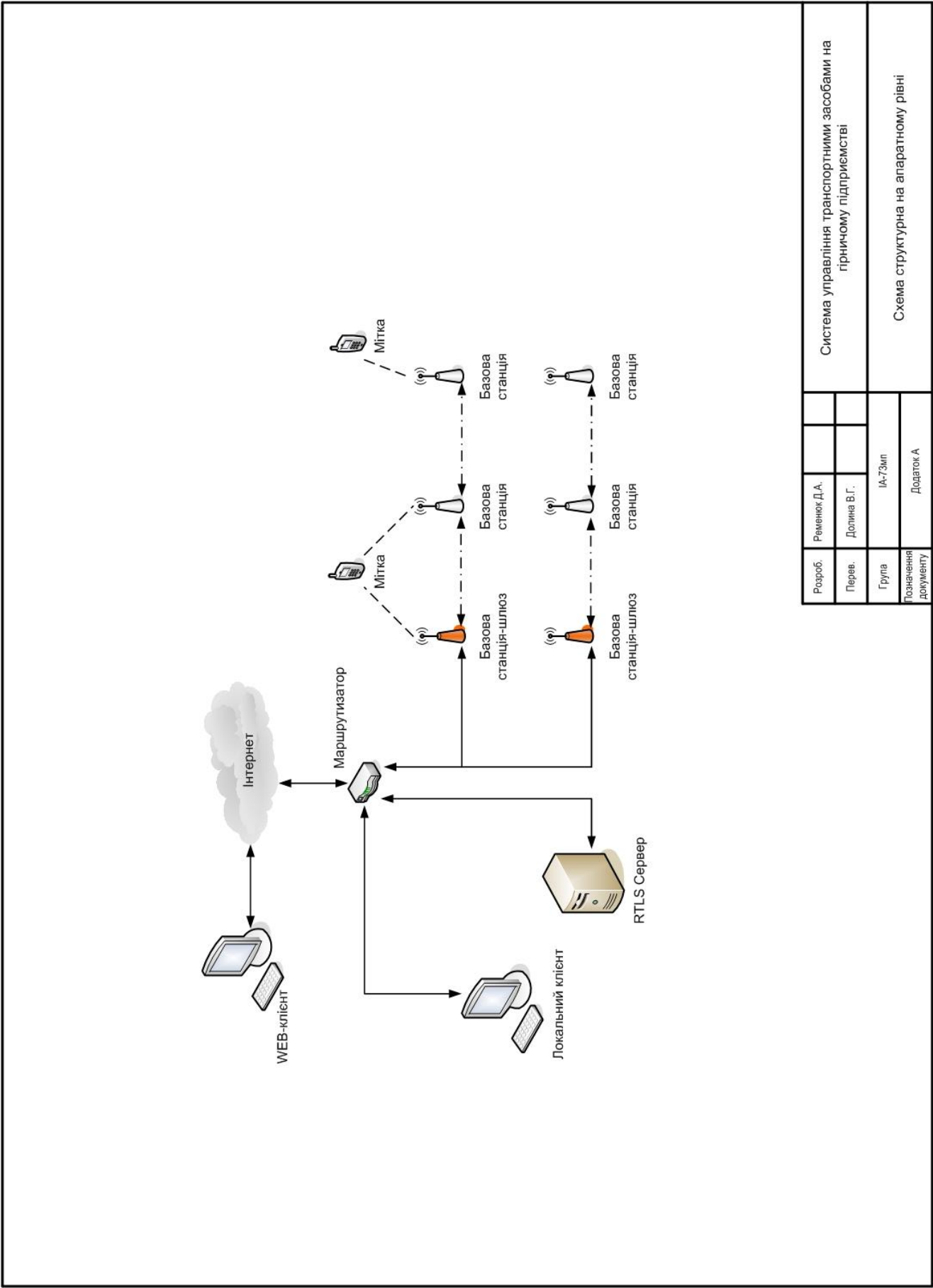
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Прохоренко О. Сировинні ресурси - сировинна країна? [Електронний ресурс] / Олексій Прохоренко. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://commons.com.ua/uk/sirovinni-resursi-sirovinna-krayina-do-situatsiyi-v-girnichometalurgijnomu-kompleksi-ukrayini/> (дата звернення 01.10.2018).
2. Угольная промышленность Украины [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Угольная_промышленность_Украины (дата звернення 01.10.2018).
3. Угольные шахты Украины [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: http://miningwiki.ru/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%BA:%D0%A3%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%88%D0%B0%D1%85%D1%82%D1%8B_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B8%D0%BD%D1%8B (дата звернення 01.10.2018).
4. Природно-каменные ресурсы Украины [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://nedra.com.ua/blog/nedra/prirodno-kamenye-resursy-ukrainy> (дата звернення 01.10.2018).
5. Головнєв С. 200 найбільших компаній України 2016 року [Електронний ресурс] / С. Головнєв, Ю. Віннічук. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://biz.censor.net.ua/resonance/3033764/200_nayiblshih_kompanyi_ukrani_2016_roku (дата звернення 01.10.2018).
6. Ширін Л. Н. Транспортні комплекси кар'єрів / Л. Н. Ширін, О. С. Пригунов, О. В. Денищенко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2015. – 241 с.
7. Шахтный транспорт [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.mining-enc.ru/sh/shaxtnyj-transport/> (дата звернення 01.10.2018).

8. Отраслевые решения на основе системы RealTrac [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://real-trac.com/ru/solutions/> (дата звернения 01.10.2018).
9. Обзор продуктов ООО "РТЛС" [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.rtlsnet.ru/products/> (дата звернения 01.10.2018).
10. Технологии позиционирования в реальном времени [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.rtlsnet.ru/technology/view/4> (дата звернения 01.10.2018).
11. Овчинников С. Технологии локального позиционирования / Сергей Овчинников. // Технологии и средства связи. – 2014. – №3. – С. 26–30.
12. Технологии локального позиционирования. Часть I [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/company/rtl-service/blog/281837/> (дата звернения 01.10.2018).
13. Технологии локального позиционирования. Часть II [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/company/rtl-service/blog/282357/> (дата звернения 01.10.2018).
14. Методы локального позиционирования [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/company/rtl-service/blog/301706/> (дата звернения 01.10.2018).
15. Технология NanoNET [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/Wireless/nanonet/index.htm> (дата звернения 01.11.2018).
16. Технология NanoLOC [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/Wireless/nanonet/index_loc.htm (дата звернения 01.11.2018).
17. nanoLOC TRX NA5TR1 Datasheet [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.scribd.com/document/284088031/nanoLOC-TRX-NA5TR1-Datasheet> (дата звернения 01.11.2018).

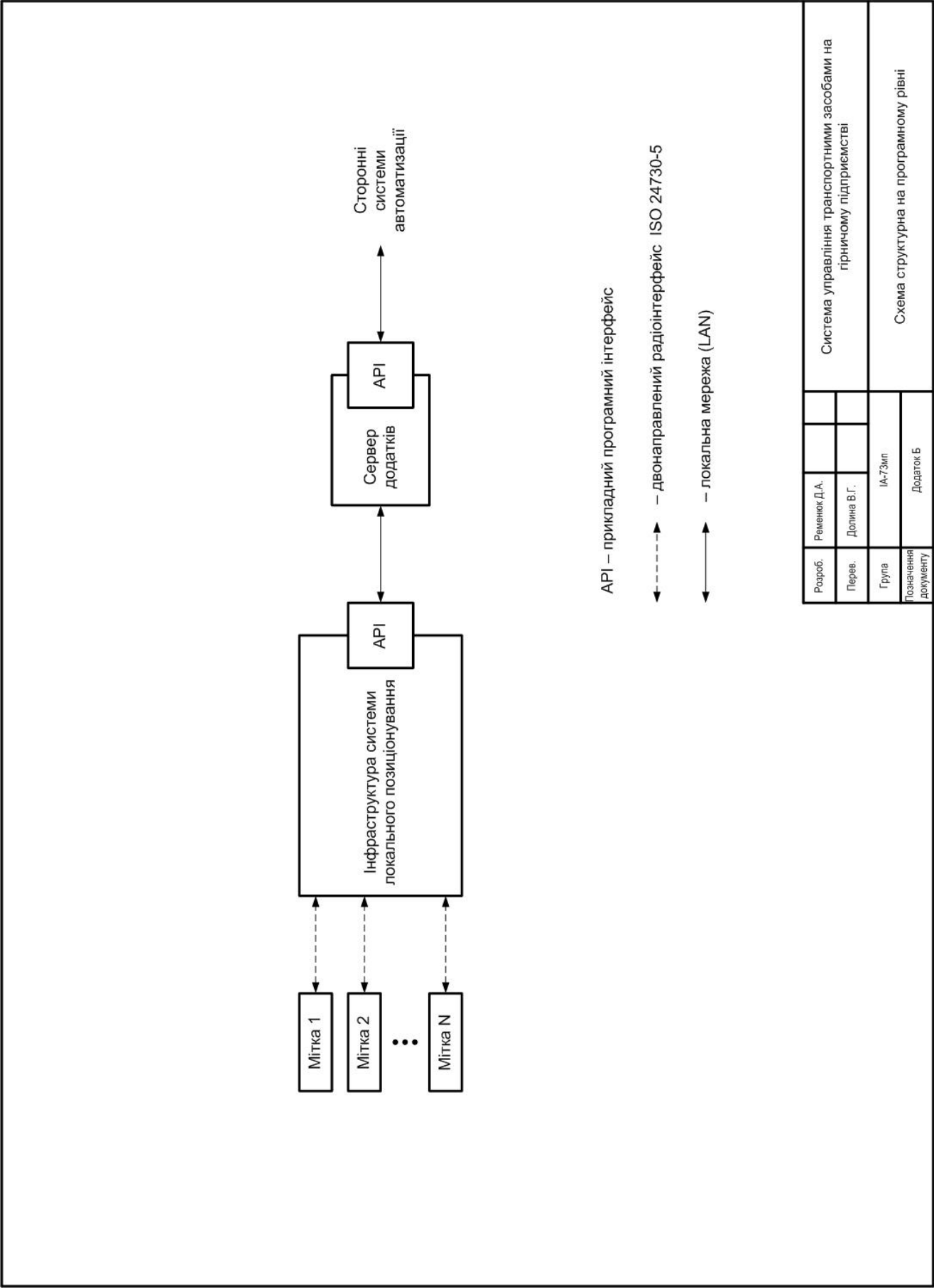
18. Технологии позиционирования РТЛС [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.rtlsnet.ru/technology/view/2> (дата звернення 01.11.2018).
19. Галов А. С. Алгоритмы локации мобильного устройства в беспроводной сети базовых станций стандарта IEEE 802.15.4a (nanoLOC) : дис. канд. техн. наук : 05.13.18 / Галов Александр Сергеевич – Петрозаводск, 2015. – 144 с.
20. Точность определения расстояний с помощью технологии nanoLOC / [А. Гоголев, Д. Екимов, К. Екимов та ін.]. // Беспроводные технологии. – 2008. – №3. – С. 48–51.
21. Жиганов Е. Д. Исследование условий применимости приемопередатчиков стандарта nanoNET в беспроводных сетях датчиков / Е. Д. Жиганов, С. Е. Красков, А. П. Мощевикин. // Беспроводные технологии. – 2007. – №1. – С. 65–69.

ДОДАТОК А

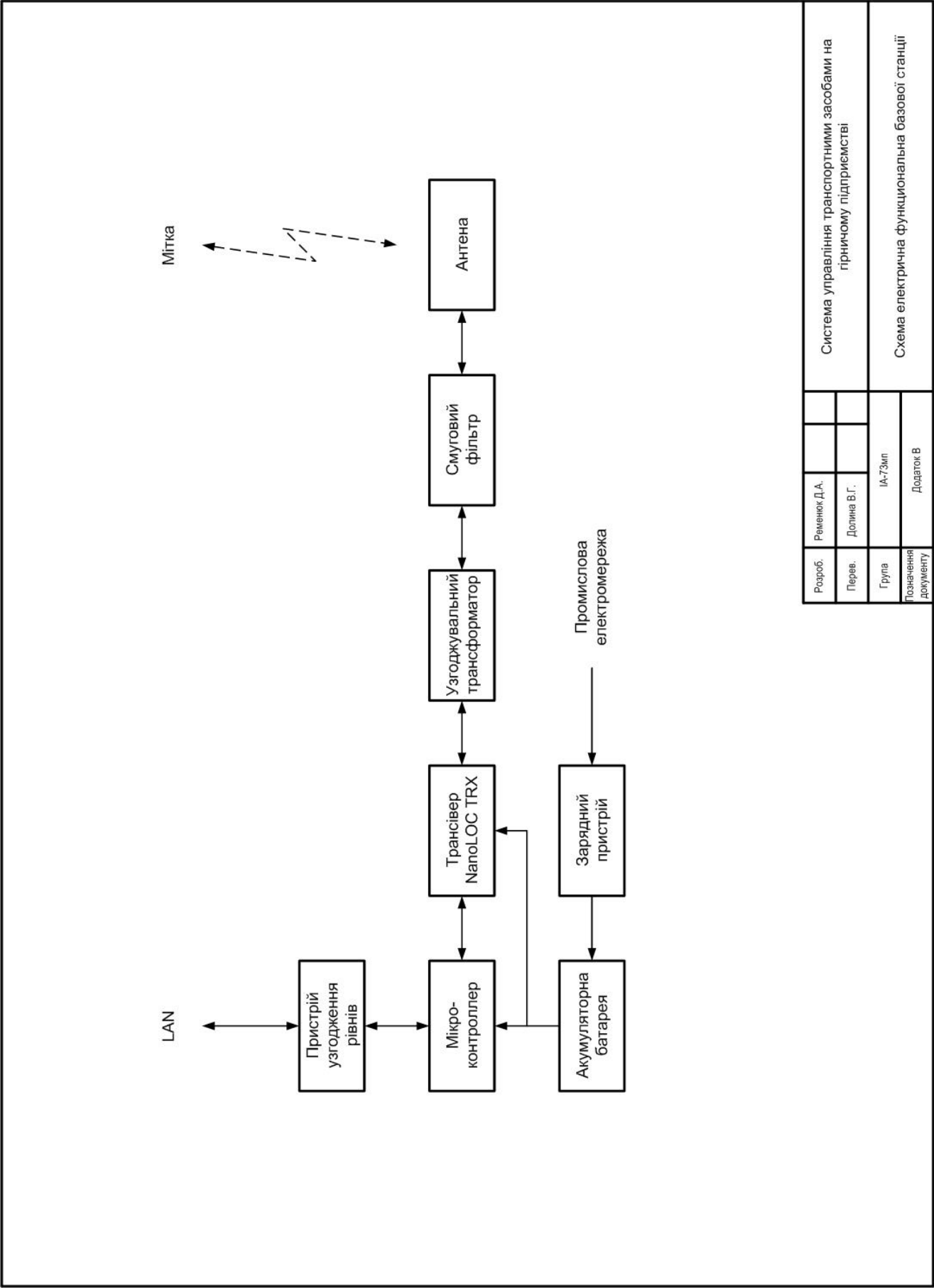


Розроб.		Ременюк Д.А.		Система управління транспортними засобами на принципом підприємстві	
Перев.		Догіна В.Г.			
Група		ІА-73мл		Схема структурна на апаратному рівні	
Позначення документу		Додаток А			

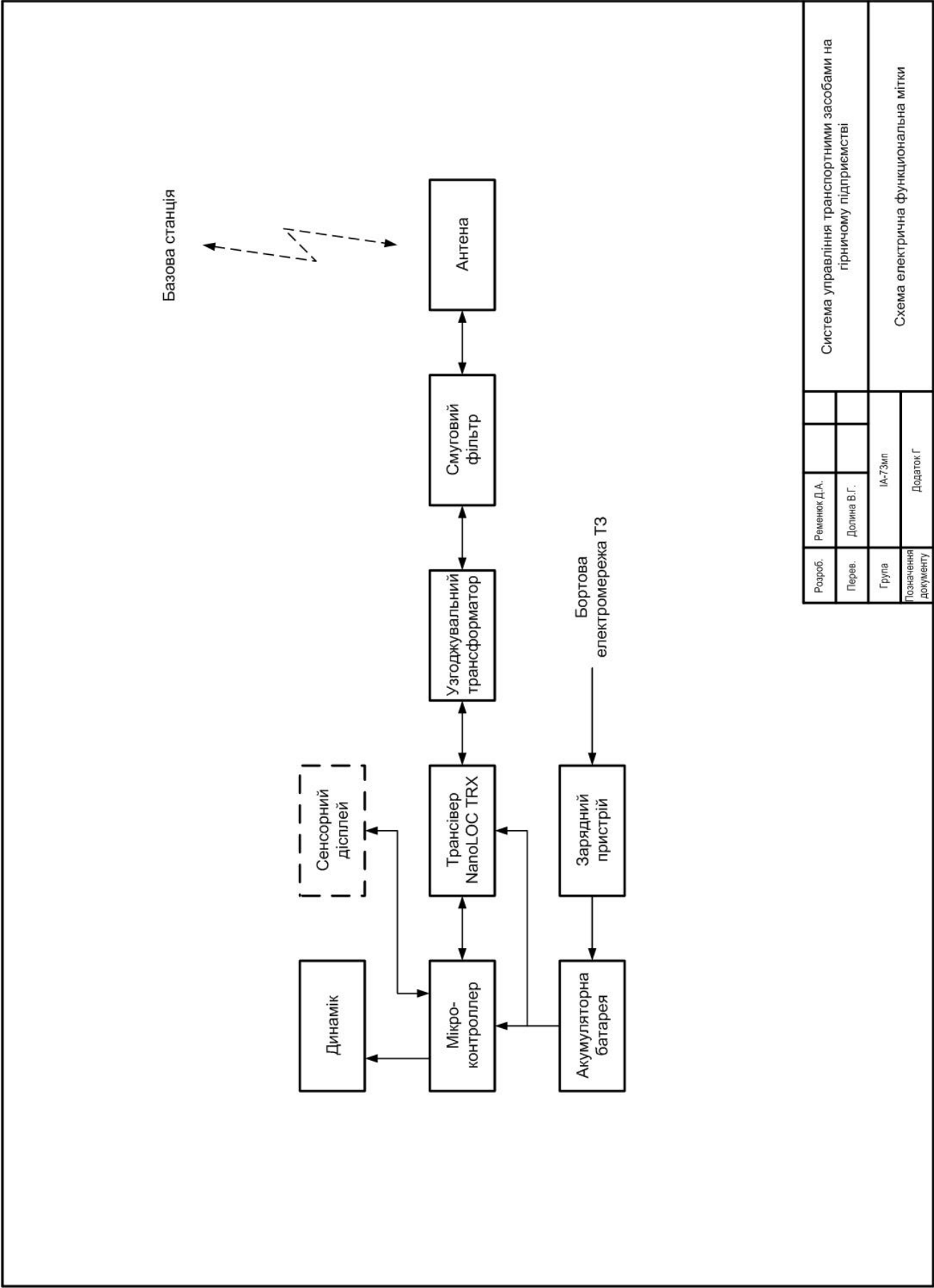
ДОДАТОК Б



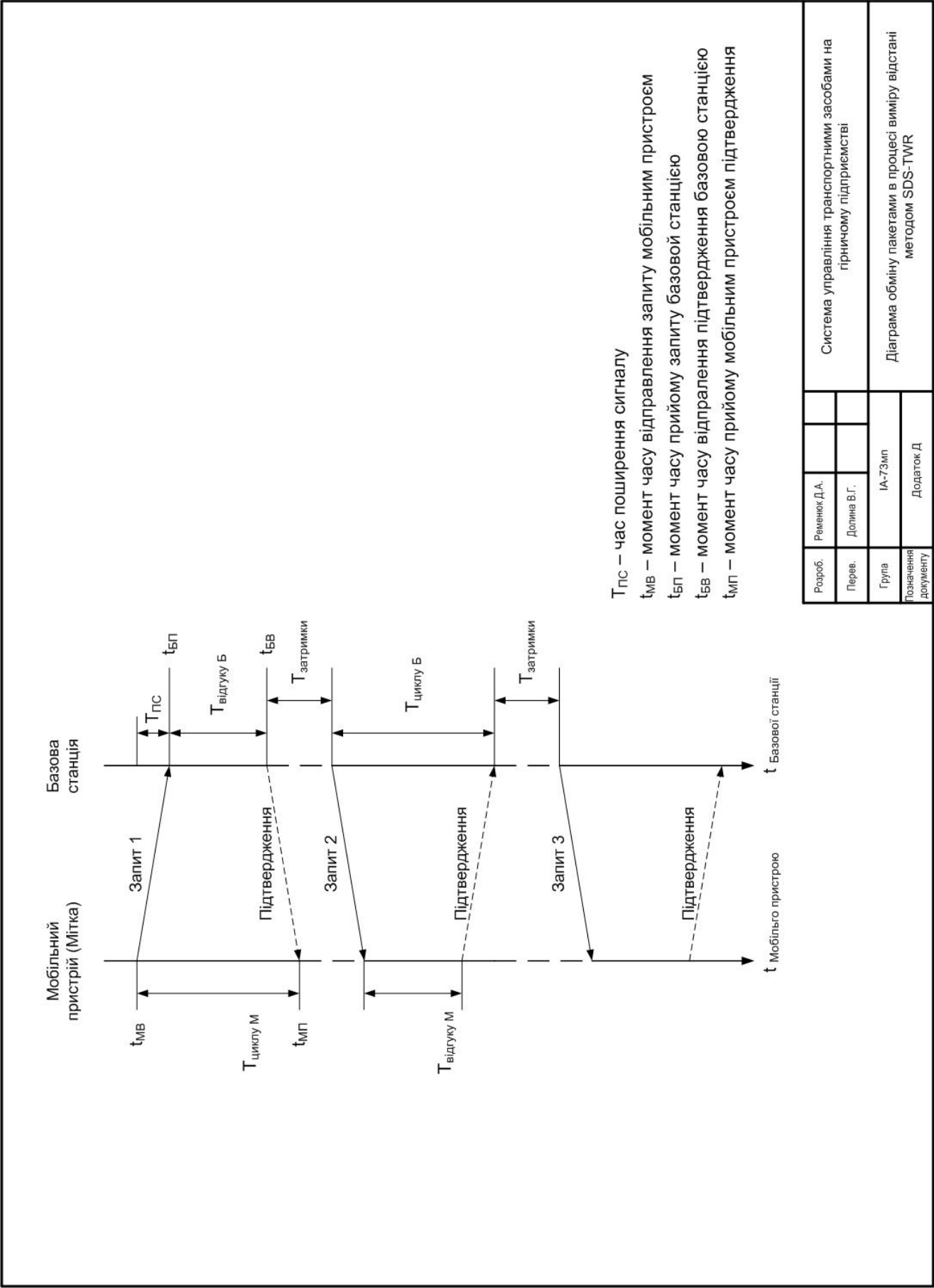
ДОДАТОК В



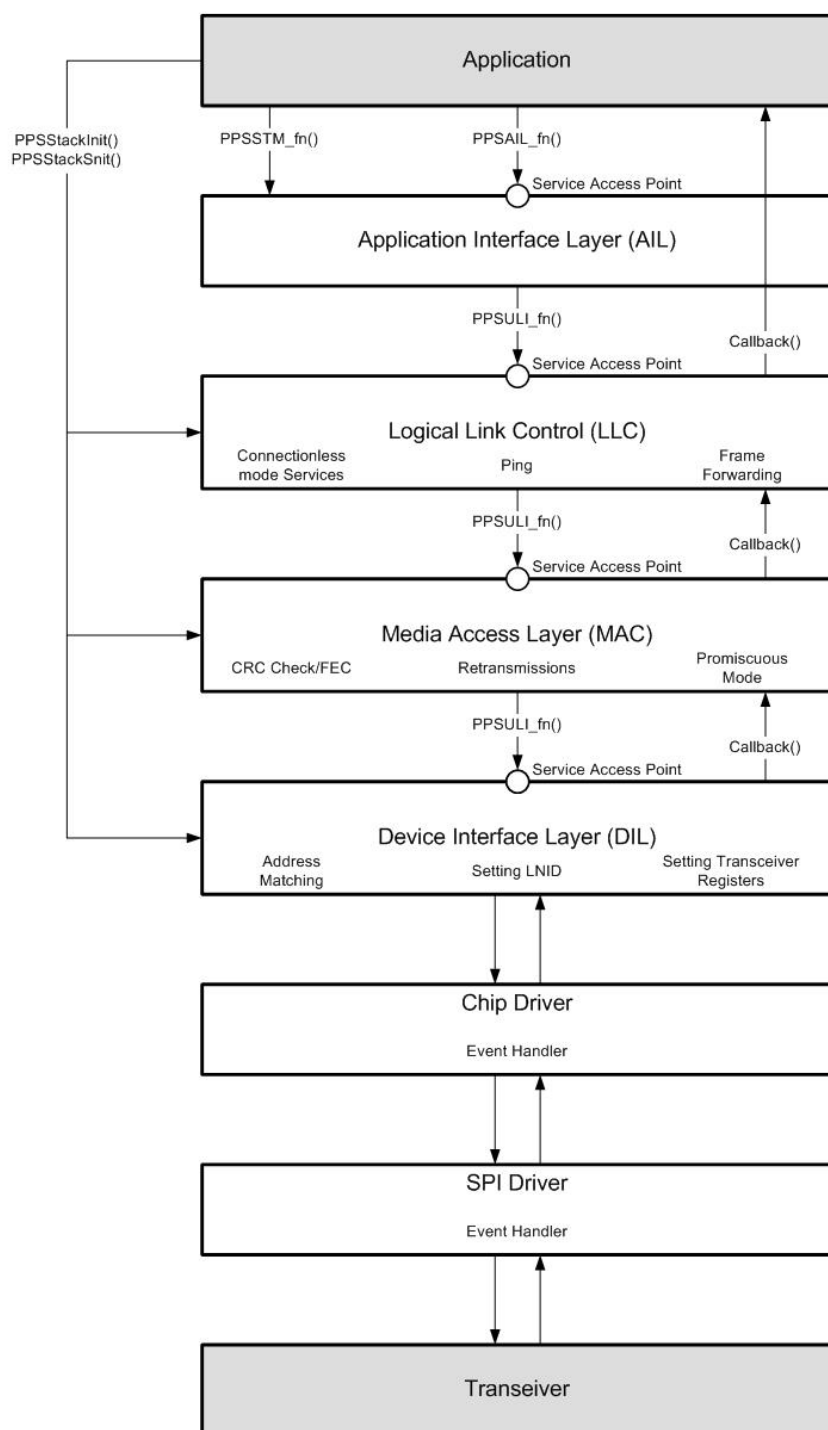
ДОДАТОК Г



ДОДАТОК Д



ДОДАТОК Е

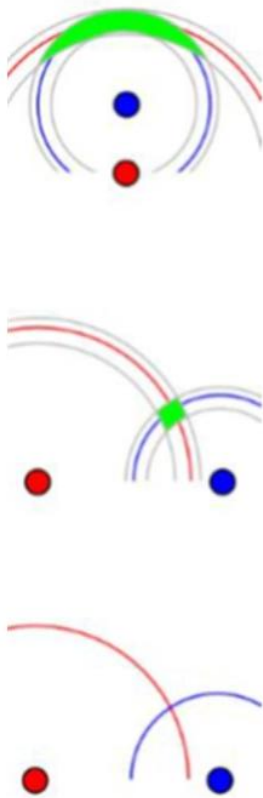


Розроб.	Ременюк Д.А.		
Перев.	Долина В.Г.		
Група	ІА-73мп		
Позначення документа	Додаток Е		


Система управління транспортними засобами на гірничому підприємстві

Функціональна схема ПЗ PPS

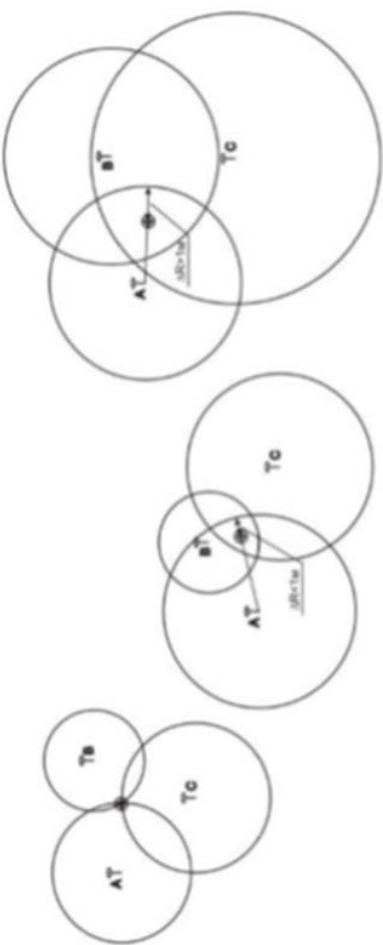
ДОДАТОК Ж



Вплив геометричного фактору



Відмінності в відносному розмірі областей розташування

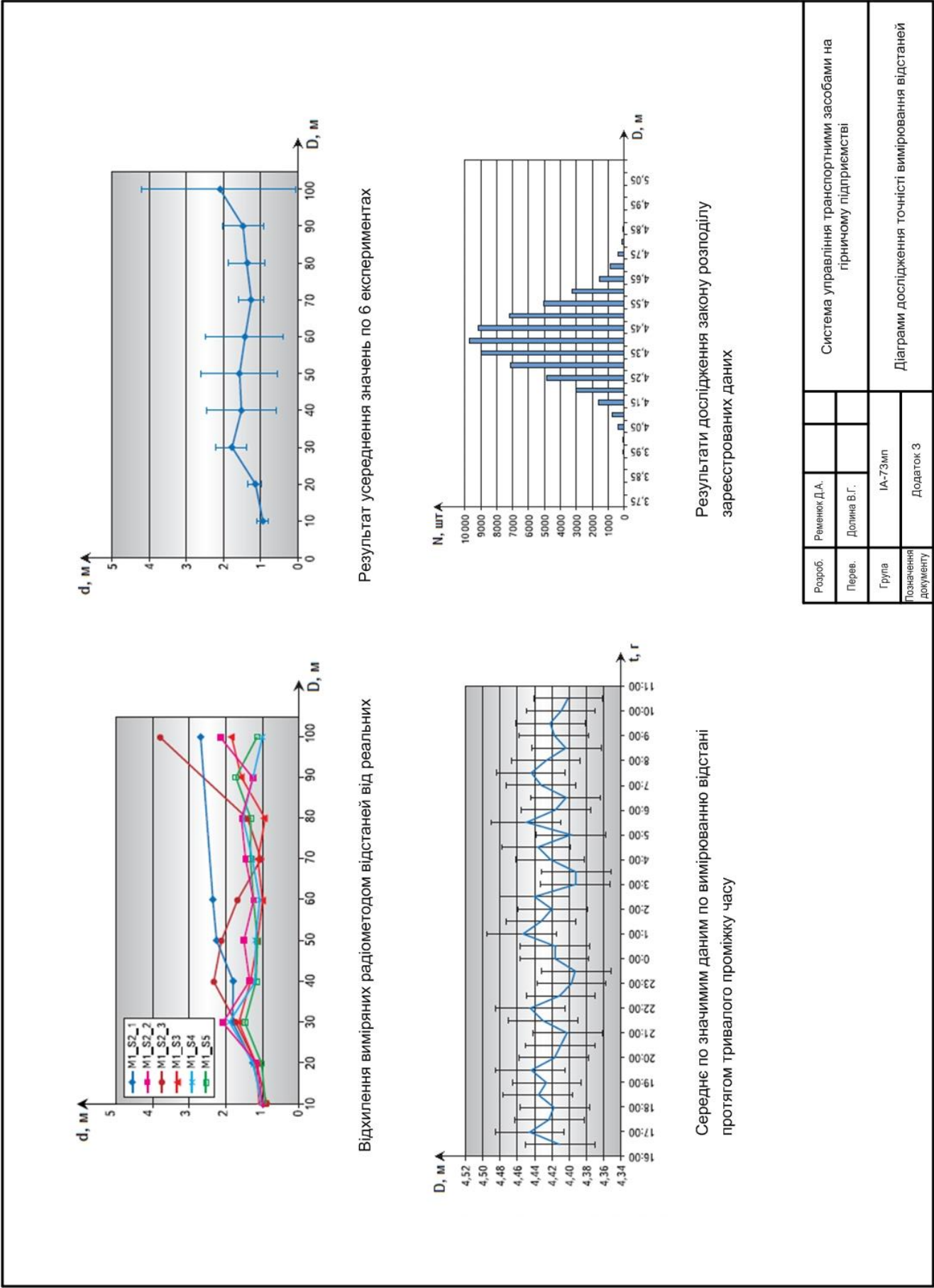


Спостворення результатів розрахунку місця розташування через помилки у вимірі відстані

Розроб.	Ременюк Д.А.				Система управління транспортними засобами на гірничому підприємстві
Перев.	Догіна В.Г.				
Група	ІА-73мп				
Позначення документу	Додаток Ж				Схеми дослідження впливу геометричних факторів на точність визначення місцезнаходження

108

ДОДАТОК 3



ДОДАТОК К

Тези, що доповідались на ІV Науково-практичній конференції Winter InfoCom Advanced Solutions 2018 (Київ, 2018).

Local positioning system for controlling the vehicles of a mining

Dmytro Remeniuk

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
Kyiv, Ukraine
remenuk.dima@gmail.com

Viktor Dolyna

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
Kyiv, Ukraine
v_79@gmail.com

Abstract. Expounded the problem of inability to use global navigation systems for solving problems locating objects inside tunnels, mines, buildings. Considered a local positioning technologies for designing control systems of vehicles in mines.

Keywords: local positioning system, real time location system, radar technology, mining company, tracking and monitoring.

Системи локального позиціонування для управління транспортними засобами на гірському підприємстві

Ременюк Дмитро Анатолійович

НТУУ КПІ імені Сікорського
Київ, Україна
remenuk.dima@gmail.com

Долина Віктор Георгійович

НТУУ КПІ імені Сікорського
Київ, Україна
v_79@gmail.com

Анотація. Викладено проблему неможливості використання глобальних навігаційних систем для вирішення задач визначення місцезнаходження об'єктів всередині тунелів, шахт, приміщень тощо. Розглянуто технології локального позиціонування для проектування системи управління транспортними засобами на гірському підприємстві.

Ключові слова: локальне позиціонування, визначення місця розташування в режимі реального часу, радіолокаційні технології, гірське підприємство, відстеження та моніторинг.

ВСТУП

Ми щодня стикаємося з глобальними навігаційними

системами, такими, як GPS або GLONASS. Робота цих систем забезпечується спеціальними супутниками, виведеними на геостационарну орбіту, і прив'язаними до певної точки в глобальній системі координат. Мобільні пристрої, наприклад, навігатор, отримують сигнал супутника і визначають своє місце розташування в прив'язці до географічних координат на основі завантажених у пристрій карт місцевості. Точність роботи глобальних навігаційних систем достатня в масштабах міста або країни, хоча похибка може досягати 10-15 метрів.

З іншого боку, за допомогою глобальних систем практично неможливо визначити точне місце розташування всередині приміщення, залізобетонної будівлі, в підвалі або у тунелі, на точність сигналу

можуть впливати масивна хмарність, магнітні бурі і інші подібні фактори.

Цих недоліків позбавлені система локального позиціонування, їх переваги стають очевидними в разі необхідності побудови систем локації та зв'язку в межах певних територій і приміщень.

Такі системи здатні вирішувати завдання визначення місця розташування людей, техніки, інших фізичних об'єктів не в масштабах країни, а в межах конкретної території або всередині будівлі з високою точністю.

ТЕХНОЛОГІЇ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Технології локального позиціонування поділяються на такі групи [1-3]:

- радіолокаційні технології;
- технології інерціального позиціонування;
- технології, засновані на зміні магнітного поля;
- оптичні технології;
- ультразвукові технології.

Таблиця 1

Радіолокаційні технології

Технологія	Діапазон робочих частот	Зона охоплення	Точність	Переваги	Недоліки
UWB	3-10 ГГц	До 40 м	До 0,1 м	Високий рівень завадостійкості, висока безпека	Малий радіус дії, складна інфраструктура
Wi-Fi (IEEE 802.11a/g/n)	2,4 ГГц, 5 ГГц	До 100 м	До 5 м	Широке розповсюдження	Недостатня точність, завантаженість ефіру
WiMax	2-66 ГГц	До 5 км	До 50 м	Надійність, висока пропускна здатність	Дороге обладнання та обслуговування
MiWi	2,4 ГГц	До 300 м	До 3 м	Шифрування повідомлень, підтримка mesh-мереж, peer-to-peer топологій, низька вартість обладнання	Низька швидкість передачі даних, дороге обслуговування, пропрієтарна технологія
ZigBee (IEEE 802.15.4)	868 МГц, 915 МГц, 2,4 ГГц, 6 ГГц	До 300 м	До 2 м	Підтримує різні топології, вибір алгоритму маршрутизації, простота розгортання, низький рівень споживання енергії	Низька швидкість передачі даних
NFER	30 МГц	До 70 м	До 1 м	Підходить для застосування в приміщеннях зі складною геометрією	Низька ефективність антени, що вимагає збільшення потужності передавача і веде до великих габаритів і вазі міток
NanoLOC (IEEE 802.15.4a)	2,4 ГГц	До 900 м	До 1 м	Робота в неліцензованих діапазонах при потужності до 100 мВт, стійкість до зовнішніх перешкод, великий вибір готового програмного забезпечення	Обмеження за кількістю пристроїв в сегменті, пропрієтарна технологія
DECT	1900 МГц	До 200 м	До 5 м	Не потребує ліцензування, не потребує спеціального обслуговування, простота розгортання	Низька швидкість передачі даних
GSM	800 МГц, 900 МГц, 1850-3800 МГц, 2,6 ГГц	До кількох десятків км	До 50 м	Можливість використання існуючої інфраструктури стільникових операторів.	Ліцензований діапазон частот, низька точність позиціонування
Bluetooth (IEEE 802.15.1)	2,4 ГГц	До 150 м	До 5 м	Високий рівень завадостійкості, висока безпека, низький рівень споживання енергії, низька вартість обладнання, компактність модулів	Неможливість досягнення високої точності визначення місця розташування

Найбільшою групою, що включає в себе кілька підгруп, є радіолокаційна технологія. Радіолокаційною називається та технологія, в якій для визначення місця розташування об'єктів використовуються радіосигнали [1]. Основні характеристики, переваги та недоліки різних радіолокаційних технологій наведено в табл. 1.

УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ НА ГІРСЬКОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Інтегровані мітки вбудовуються в існуюче обладнання. Персональні теги видаються працівникам кар'єру, шахти. Транспортні мітки встановлюються на транспортних засобах. Базові станції встановлюються в ключових

місцях для забезпечення повного покриття території підприємства (рис. 1).

Інфраструктура системи здатна не тільки в реальному масштабі часу визначати місцезнаходження мобільних об'єктів (техніки, персоналу), а й забезпечити обмін координатною і службовою інформацією між засобами системи і мобільними об'єктами.

ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто технології локального позиціонування. Проведено аналіз радіолокаційних технологій. Запропоновано структуру побудови системи локального позиціонування на гірничому підприємстві,

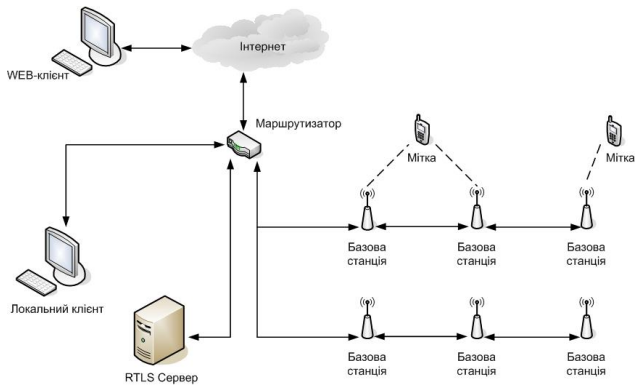


Рис. 1. Структурна схема системи локального позиціонування

яку можна використовувати для подальшого проектування системи управління транспортними засобами на гірничому підприємстві.

ЛІТЕРАТУРА

1. Технологии локального позиционирования. Часть I [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/company/rtl-service/blog/281837/> (дата звернення 01.10.2018).
2. Технологии локального позиционирования. Часть II [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/company/rtl-service/blog/282357/> (дата звернення 01.10.2018).
3. Овчинников С. Технологии локального позиционирования / Сергей Овчинников. // Технологии и средства связи. – 2014. – №3. – С. 26–30.

